

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Laima GREIČIŪNĖ

ĮVAIRIARŪŠIŲ KROVINIŲ MARŠRUTŲ ŽALIAJAME TRANSPORTO KORIDORIUJE TYRIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
TRANSPORTO INŽINERIJA (03T)



Vilnius LEIDYKLA
TECHNIKA 2014

Disertacija rengta 2010–2014 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas

doc. dr. Aldona JARAŠŪNIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, transporto inžinerija – 03T).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Transporto inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

Pirmininkas

prof. habil. dr. Henrikas SIVILEVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, transporto inžinerija – 03T).

Nariai:

doc. dr. Darius BAZARAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, vadyba – 03S),

prof. dr. Žilvinas BAZARAS (Kauno technologijos universitetas, transporto inžinerija – 03T),

prof. dr. Marija BURINSKIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, transporto inžinerija – 03T),

prof. dr. Juris SMIRNOVS (Rygos technikos universitetas, transporto inžinerija – 03T).

Disertacija bus ginama viešame Transporto inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2015 m. sausio 29 d. 10 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel.: (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112; el. paštas doktor@vgtu.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2014 m. gruodžio 23 d.

Disertaciją galima peržiūrėti interneto svetainėje <http://dspace.vgtu.lt> ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

VGTU leidyklos TECHNIKA 2305-M mokslo literatūros knyga
ISBN 978-609-457-756-7

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2014

© Laima Greičiūnė, 2014

laima.greiciune@vgtu.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Laima GREIČIŪNĖ

RESEARCH ON INTERMODAL FREIGHT ROUTES IN GREEN TRANSPORT CORRIDOR

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
TRANSPORT ENGINEERING (03T)



Vilnius LEIDYKLA TECHNICA 2014

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2010–2014.

Supervisor

Assoc Prof Dr Aldona JARAŠŪNIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering – 03T).

The Dissertation Defense Council of Scientific Field of Transport Engineering of Vilnius Gediminas Technical University:

Chairman

Prof Dr Habil Henrikas SIVILEVIČIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering – 03T).

Members:

Assoc Prof Dr Darius BAZARAS (Vilnius Gediminas Technical University, Management – 03S),

Prof Dr Žilvinas BAZARAS (Kaunas University of Technology, Transport Engineering – 03T),

Prof Dr Marija BURINSKIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering – 03T),

Prof Dr Juris SMIRNOVS (Riga Technical University, Transport Engineering – 03T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defense Council of Transport Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **10 a. m. on 29 January 2015**.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112; e-mail: doktor@vgtu.lt

A notification on the intend defending of the dissertation was send on 23 December 2014.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Internet website <http://dspace.vgtu.lt/> and at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

Reziumė

Disertacijoje pateikiami įvairiarūšių krovinių (IK) maršrutų žaliajame transporto koridoriuje (ŽTK) tyrimo rezultatai. Pagrindinis darbo objektas – įvairiarūšių krovinių optimalaus maršruto žaliuojame transporto koridoriuje modelis, skirtas neigiamiems transporto poveikio aplinkai rodikliams (TPAR) mažinti (maršruto atstumui, trukmei ir emisijos kiekiui). Siekiant užtikrinti nenutrūkstamą ir savalaikę įvairiarūšių krovinių (IK) plėtotę žaliuoju transporto koridoriumi (ŽTK), norint išvengti gaišties, maršrutų keitimo ar transporto priemonių (TP) prastovų, svarbu įvertinti vidutinio transporto priemonių srauto (TPS) greičio priklausomybę nuo kelių oro sąlygų (KOS). Pagrindinis darbo tikslas – sukurti įvairiarūšių krovinių vežimo žaliuoju transporto koridoriumi matematiniu modeliavimu pagrįstą optimalaus maršruto parinkimo modelį, naudojant kelių oro sąlygų (KOSIS) stotelių ir eismo intensyvumo (EII) skaičiuotuvų duomenų bases.

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendros išvados, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašas.

Įvadiniam skyriuje suformuluota tiriamoji problema, darbo aktualumas, tyrimų objektas, darbo tikslas ir uždaviniai, tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatytos autoriaus paskelbtos publikacijos disertacijos tema, aprašoma disertacijos sandara.

Pirmajame skyriuje nagrinėjami moksliniai literatūros šaltiniai ir darbai, susiję su įvairiarūšių krovinių plėtote žaliuoju transporto koridoriumi (ŽTK) ir intelektinių transporto sistemų teikiamų duomenų taikymo problematika. Tiriamos nepalankių oro sąlygų keliuose įtaka.

Antrajame skyriuje pateikti ITS sudedamieji elementai, patikslintos ITS ir ŽTK sąvokos, sudarytas ŽTK topologinis žemėlapis, suformuluotas tyrimo algoritmas optimaliam maršrutui nustatyti pagal trumpiausią maršruto atstumą, trukmę ir mažiausią emisijos kiekį. Šiam sprendimui sukuriamas Visual Basic application (VBA) programavimo kalbos kodas taikant dinaminio programavimo Belmano modelį optimalaus įvairiarūšio transporto maršrutui spręsti. Modelis įvertina vidutinio TPS greičio priklausomybę nuo kelių oro sąlygų.

Trečiajame skyriuje pateikti Lietuvos kelių oro sąlygų įtakos vidutiniam greičiui tyrimai ir rezultatai ŽTK maršrutuose, taikant dinaminio programavimo metodą, pagal trumpiausio atstumo, trukmės funkciją ir emisijos kiekį.

Disertacijos tema paskelbta vienuolika mokslinių publikacijų: viena – ISI Web of Science duomenų bazėje, dvi – recenzuojamose mokslo žurnaluose, trys – recenzuojamuose užsienio tarptautinių konferencijų leidiniuose, penkios – recenzuojamuose Lietuvos tarptautinių konferencijų leidiniuose.

Abstract

In this dissertation presented the results of the research on intermodal freight routes in green transport corridor. The object of the thesis – the research on intermodal freight optimal route in the green transport corridor to reduce the negative impact of transport on the environmental variables (route distance, duration and emission). In order to ensure a continuous intermodal freight development in the green transport corridor, and to avoid delays, route variations or vehicle downtime, it is important to evaluate the dependence of average vehicle traffic speed on road weather conditions.

The dissertation consists of the introduction, three chapters, conclusions, the list of references and the list of the author's publications.

The introductory chapter deals with the research problem and relevance of the research object, the goals and objectives of the research methodology, scientific novelty, practical significance of the results, and the defended statements. The publications on the topic of the dissertation and the structure of the thesis are presented by the author at the end of the introductory part.

The first chapter focuses on the analysis of Lithuanian and foreign scientific literature, works related to the intermodal freight in the green corridor and problems in applying the data provided by the intelligent transport systems. The author analysed the principles of formation of the green transportation corridor in carrying intermodal freight, stressed the importance of intelligent transport system to intermodal freight in the green transport corridor. Adverse weather conditions have impact on road transport, the impact of mobility is expressed as delays, congestion, reduced average traffic speed, traffic volumes and traffic intensity.

The second chapter presents the constituent elements of intelligent transport system, clarifies the concept of green transport corridor, provides the structure of the green transport corridor topological map, and formulates the research algorithm aimed to determine the optimal route. For the accomplishment of this the author used the Bellman's dynamic programming model; the problem was solved by applying a Visual basic application code for optimal intermodal route solutions.

The third chapter presents the research and tests Lithuanian road weather impact on the average speed in green transport corridor routes using dynamic programming method for optimal routes by the shortest distance, duration and emission amounts.

The dissertation topic was published in 11 scientific publications: 1 – ISI Web of Science, 2 – reviewed in scientific journals, 3 – in reviewed foreign international conference publications, 5 – reviewed Lithuanian international conference publications.

Žymėjimai

Simboliai

1440 min – paros laikas minutėmis;
365 – dienų skaičius per metus;
 A – aibė briaunų (kelių);
 A_{uz} – aplinkkelio briauna;
 d – mėnesio dienų skaičius;
 D_{EII} – eismo intensyvumo duomenų surinkimo data;
 E – bendras emisijos kiekis maršrute, t;
 E_{ij} – teršalų kiekis A_{ij} briaunoje, t/TEU km;
 EF_{ij} – taršos kiekis iš transporto priemonės, naudojamos konteineriams vežti;
 F_k – matematinė optimalumo principo išraiška;
 F_{KOS} – kelių oro sąlygos;
 $G(V, A)$ – įvairiarūšio sausumos transporto keliai, kuriuose yra aibė viršūnių V ir aibė briaunų (kelių), A ;
 I_K – intensyvumas visame kelyje (TP/p.);
 I_{krov} – krovinių transporto priemonių intensyvumas;
 $I_{L(y)}$ – lietaus intensyvumo vidurkis per laiko vienetą, kai kritulių intensyvumo riba yra y , mm/h;
 $I_{L(y)_1}$ – lietaus intensyvumas 1-uojų laiko tarpu, kai kritulių intensyvumo riba yra y , mm/h;
 $I_{L(y)_2}$ – lietaus intensyvumas 2-uojų laiko tarpu, kai kritulių intensyvumo riba yra y , mm/h;
 $I_{L(y)_k}$ – lietaus intensyvumas k -tuoju laiko tarpu, kai kritulių intensyvumo riba yra y , mm/h;
 I_{Rn} – VMPEI kelio ruože metais n ;
 I_R – kelio ruože (aut./p.);

$I_{S(z)}$ – sniego intensyvumo vidurkis pagal z ribas;
 I_{S_z} – sniego intensyvumo vidurkis per laiko vienetą, kai kritulių intensyvumo riba z , mm/h;
 $I_{S(z)_1}$ – sniego intensyvumas 1-uoju laiko tarpu, kai kritulių intensyvumo riba z , mm/h;
 $I_{S(z)_2}$ – sniego intensyvumas 2-uoju laiko tarpu, kai kritulių intensyvumo riba z , mm/h;
 $I_{S(z)_k}$ – sniego intensyvumas k -tuoju laiko tarpu, kai kritulių intensyvumo riba z , mm/h;
 I_{aut} – vidutinis automobilių intensyvumas, aut./h;
 k – tyrimo laikotarpio intervalų skaičius;
 L_{ij} – briaunos (maršruto) A_{ij} ilgis, km;
 L_R – atskiro kelio ruožo ilgį (km);
 $M_{(f)}$ – matomumo vidurkis per laiko vienetą, kai matomumas riba f , km;
 $M_{(f)_1}$ – matomumas 1-uoju laiko tarpu, kai matomumas riba f , km;
 $M_{(f)_2}$ – matomumas 2-uoju laiko tarpu, kai matomumas riba f , km;
 $M_{(f)_k}$ – matomumas k -tuoju laiko tarpu, kai matomumas riba f , km;
 $match$ – nurodytos reikšmės paieška stulpelių diapazone;
 n – kintamųjų imties dydis (periodų skaičius);
 n_{arv} – atvykstančių traukinių skaičius;
 n_b – bendras (skaičiuojamasis) stoties pralaidumas;
 $n_{išv}$ – išvykstančių traukinių skaičius;
 n_{max} – didžiausias vienkelių geležinkelio linijos laidumas, traukinių porų per parą;
 p – transporto rūšis;
 p_1 – geležinkelių transportas;
 p_2 – kelių transportas;
 PEI – paros eismo intensyvumas;
 p_{rv1} – rytų–vakarų transporto koridorius Lietuvoje (A1);
 p_{rv2} – rytų–vakarų transporto koridorius Lietuvoje (A2, A9, A11);
 $p_{šp}$ – šiaurės–pietų transporto koridorius Lietuvoje (A10, A8, A5);
 s_{ij} – A_{ij} briaunos svoris;
 t_a – atvykusio traukinio laikų skirtumas stotyje;
 t_i – išvykusio traukinio laikų skirtumas stotyje;
 t_{ij} – maršruto A_{ij} briaunoje trukmė, h ;
 t_p – traukinio sugaištas laikas tarpstotyje ir stotyje; stoties intervalu, min.;
 $T_{(c)}$ – oro temperatūros vidurkis per laiko vienetą, kai oro temperatūra c , °C;
 $T_{(c)_1}$ – oro temperatūra 1-ajame laiko tarpe, kai oro temperatūra c , °C;
 $T_{(c)_2}$ – oro temperatūra 2-ajame laiko tarpe, kai oro temperatūra c , °C;
 $T_{(c)_k}$ – oro temperatūra k -ajame laiko tarpe, kai oro temperatūra c , °C;
 t', t'' – traukinio važiavimo trukmė tarpstotyje pirmyn ir atgal (min);
 u_k^* – sąlyginis optimalus valdymas k -tuoju žingsniu;
 \bar{u}_k – valdymo funkcija;

u_{vid} – vidutinis transporto priemonių atsilikimas;
 $VMPEI$ – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas;
 V – viršūnė;
 v_{ij} – vidutinis TPS greitis A_{ij} briaunoje;
 V_i ir V_j – A_{ij} briaunos viršūnės;
 v_{vid} – vidutinis TP srauto greitis, km/h;
 $V_{(p)}$ – vėjo greitis m/s vidurkis per laiko vienetą, kai vėjo greitis p , m/s;
 $V_{(p)_1}$ – vėjo greitis 1-uoju laiko tarpu, kai vėjo greitis p , m/s;
 $V_{(p)_2}$ – vėjo greitis 2-uoju laiko tarpu, kai vėjo greitis p , m/s;
 $V_{(p)_k}$ – vėjo greitis k -tuoju laiko tarpu, kai vėjo greitis p , m/s;
 v_{avid} – vidutinis automobilių srauto važiavimo greitis, km/h;
 $vlookup$ – reikšmės paieška duomenų eilutės masyvo stulpelyje;
 $w_{(p)}$ – kelio ilgis nuo v_i iki v_j ;
 w – TEU kiekis briaunoje, vnt.;
 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ – stebėjimo rezultatai;
 X_p – esama pasirinkta transporto rūšis p briaunoje A_{ij} ;
 Y_k – optimalumo principo išraišką k -tuoju žingsniu;
 Z_{k+1} – efektyvumo rodiklis;
 Z_k – suminis efektyvumas nuo k -tojo iki n -tojo žingsnio.

Santrumpos

DB – duomenų bazė
 EI – eismo intensyvumas
 EII – eismo intensyvumo skaičiuotuvas
 ERTMS – Europos geležinkelių eismo valdymo sistema
 ES – Europos Sąjunga
 ETCS – Europos geležinkelių kontrolės sistema
 GIS – geografinė informacinė sistema
 GPS – visuotinė padėties nustatymo sistema, arba globalioji pozicionavimo sistema
 GSM – globalus mobiliųjų telefonų ryšio standartas
 GSM-R radijo ryšio tinklas geležinkeliuose
 HJB – Hamilton – Jacobi – Bellman lygtys
 IRT – informacinės ir ryšių technologijos
 IS OPKIS – operatyvi vežimo kompiuterinė informacinė sistema
 ITS – intelektinės transporto sistemos
 ITT – įvairiarūšio transporto tinklas
 KOS – kelių oro sąlygos
 KOSIS – kelių oro sąlygų informacinė sistema
 OD – išeities ir paskirties (angl. origin destination) poros
 RFID – automatinis identifikavimas (angl. radio-frequency identification)

TEU – dvidešimties pėdų vieneto ekvivalentas

TP – transporto priemonė

TPS – transporto priemonių srautas

TPAR – transporto poveikio aplinkai rodikliai

ŽTK – žaliasis transporto koridorius (angl. green transport corridor)

WSN – belaidis jutiklių tinklas

Sąvokos

Geležinkelio stotis – geležinkelio infrastruktūros dalis. Ją sudaro kelių, pastatų, statinių ir įrenginių kompleksas, užimantis tam tikrą žemės sklypą ir skirtas traukiniams priimti, išformuoti, išleisti ir praleisti; keleiviams, bagažo ar krovinių siuntėjams (gavėjams) aptarnauti.

Geokodavimas – geoduomenų bazių sudarymas.

Inovatyvios technologijos – tai išsamesnis inovatyvių technologijų formavimą ir jų adaptavimą veikiančių veiksmų pažinimas, geresnė jų vadyba ir tobulesnis technologinio inovatyvumo vertinimas kaip tik ir apibrėžia svarbią, tačiau mažai tyrinėtą vadybos ir administravimo mokslo bei praktikos problematiką.

Intensyvus geležinkelių eismas – toks eismas, kai traukinių eismo grafike yra daugiau kaip 50 porų keleivinių ir prekių traukinių dvikeliuose ir 24 poros vienkeliuose ruožuose per parą.

Įvairiarūšis terminalas – kroviniame transporte tai vieta, pritaikyta įvairiarūšiams vežimo vienetams perkrauti ir sandėliuoti.

Įvairiarūšis vežimas – to paties krovo vieneto vežimas dviem ar daugiau transporto rūšimis, neperkraunant paties krovinio turinio, o tik keičiant transporto rūšį.

Kritulių intensyvumas – tai per tam tikrą laiką iškritusių kritulių (lietaus, sniego) kiekis išreiškiamas milimetrais per valandą.

Krovininis transportas – transporto priemonių grupė, kurią sudaro autobusai, traktoriai ir kroviniai automobiliai, kurių leidžiamoji krovinio masė ne mažesnė kaip 3,5 t.

Krovinio vežimas – jo pristatymas į paskirties vietą visiškai išsaugoto ir laiku, tai yra viena iš pagrindinių vežimo sąlygų. Įvairiems kroviniams vežti būtinos įvairios transporto priemonės ir skirtingas važiavimo greitis.

Krovinių srautai – krovinių kiekis tonomis, vežamas tam tikra kryptimi ir tam tikru laikotarpiu.

Modelis – originalo atvaizdas, tapatus pasirinktu struktūros lygmeniu arba pasirinktomis funkcijomis; matematikoje – struktūra, atitinkanti modeliuojamąjį realų objektą arba procesą.

Optimizuoti – rasti optimalų (geriausią) iš esamų variantų, galimybių.

Optimalus – geriausias, tinkamiausias, palankiausias.

Pajėgumas – galimybė apdoroti krovinius turimomis technologinėmis priemonėmis.

Pažangios technologijos – tai moksliniai techniniai pasiekimai, kuriems būdingas naujumas ir techninis ekonominis prioritetas, palyginti su analogiškais potencialių naujos technologijos pirkėjų ir jų konkurentų naudojamomis technologijomis.

Pralaidumas (geležinkelių) – tai priimti ir išleisti traukiniai.

Prietaika (angl. application) – taikomoji programa, jos ištekliai ir vartojimo terpė.

Susisiekimo sistema – sausumos ir vandens kelių, elektroninių ryšių ir pašto, eismo valdymo bei intelektinių transporto sistemų, jais susijusių statinių (tarp jų ir pastatų), specialiai įrengtų teritorijų ir įrenginių bei konstrukcijų visuma, skirta transporto, logistikos, elektroninių ryšių ir pašto veiklai užtikrinti.

Tarpstotis – geležinkelio linijos atkarpa, esanti tarp dviejų stočių, kelio postų arba kelio posto ir stoties.

Transporto koridorias – krovinio transporto judėjimo koncentracija tarp pagrindinių transporto mazgų santykinai ilguose transporto maršrutuose.

Transporto terminalas – kelių transporto rūšių transporto tinklų ir infrastruktūros jungties vieta, kurioje kroviniai ar krovos vienetai efektyviai perkraunami tarp skirtingų transporto rūšių ar transporto priemonių toliau vežti.

Žalieji transporto koridoriai – Europos Komisijos įvardijama efektyvių įvairiarūšių transporto koridorių koncepcija, pagrįsta krovinių vežimu didžiojoje gabenimo dalyje ekologiška transporto rūšimi.

Turinys

IVADAS	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas.....	1
Tyrimo objektas.....	2
Darbo tikslas.....	2
Darbo uždaviniai	2
Tyrimų metodai	2
Darbo mokslinis naujumas	3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	3
Ginamieji teiginiai	3
Darbo rezultatų aprobavimas.....	4
Disertacijos struktūra.....	4
Padėka	4
1. MOKSLINIŲ DARBŲ, SKIRTŲ ĮVAIRIARŪŠIŲ KROVINIŲ, ŽALIŲJŲ TRANSPORTO KORIDORIŲ IR INTELEKTINIŲ TRANSPORTO SISTEMŲ PROBLEMATIKAI, ANALIZĖ.....	7
1.1. Žaliojo transporto koridoriaus sudarymo principai.....	8
1.2. Mokslinių darbų įvairiarūšių krovinių vežimo tema analizė.....	17
1.3. Intelektinių transporto sistemų taikymo įvairiarūšiams kroviniams vežti apžvalga	27
1.3.1. Intelektinių transporto sistemų taikymo technologijų įvairiarūšių krovinių vežime apžvalga	30

1.3.2. Kelių oro sąlygų įtakos vidutiniam maršruto greičiui nustatymas	34
1.4. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas.....	39
2. ŽALIOJO TRANSPORTO KORIDORIAUS OPTIMALAUS MARŠRUTO SUDARYMO, TAIKANT INTELEKTINIŲ TRANSPORTO SISTEMŲ DUOMENIS, TYRIMAS	41
2.1. Žaliojo transporto koridoriaus intelektinių transporto sistemų sudedamieji elementai.....	42
2.2. Žaliojo transporto koridoriaus topologinio žemėlapiu Lietuvoje sudarymas	48
2.3. Žaliojo transporto koridoriaus optimalaus maršruto modelio algoritmas	49
2.3.1. Kelių oro sąlygų įtaka vidutiniam transporto priemonių srauto greičiui maršrute	54
2.3.2. Dinaminio programavimo metodo taikymas optimalaus maršruto nustatymo modelyje.....	60
2.4. Antrojo skyriaus išvados	62
3. OPTIMALAUS MARŠRUTO ŽALIUOJU TRANSPORTO KORIDORIUMI MODELIO TAIKYMAS	63
3.1. Kelių oro sąlygų įtakos vidutiniam transporto priemonių srauto žaliuoju transporto koridoriumi greičiui nustatymo rezultatai.....	63
3.2. Dinaminio programavimo uždavinio sprendimas programavimo kalbos kodu, nustatant optimalų maršrutą, rezultatai.....	81
3.3. Trečiojo skyriaus išvados	88
BENDROSIOS IŠVADOS	89
LITERATŪROS SĄRAŠAS	91
AUTORĖS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS.....	105
SUMMARY IN ENGLISH.....	107
PRIEDAI¹	125
A priedas. Pagrindiniai „Supergreen“ projekto ataskaitos žaliojo transporto koridoriaus veiklos rodikliai (Panagakos, Psaraftis 2013).....	126
B priedas. Žaliųjų transporto koridorių atrankos vertinimo kriterijai.....	127
C priedas. Optimalaus maršruto Visual basic application kodas (sudarytas autorės).....	128
D priedas. Kelių oro sąlygų tyrimo duomenys (sudaryta autorės)	130
E priedas. Geležinkelių tinklas (sudarytas autorės)	131
F priedas. Kelių tinklas (sudarytas autorės).....	132
G priedas. Mazgų ir kelių sankritų tinklas (sudarytas autorės).....	133
H priedas. Kelių oro sąlygų stotelės (sudarytas autorės)	134
I priedas. Eismo intensyvumo skaičiuotuvai (sudarytas autorės)	135
J priedas. Bendra autorių sutikimai teikti publikacijose skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje	1356
K priedas. Autorės mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos.....	13540

¹Priedai įrašyti į kompaktinę plokštelę.

Contents

INTRODUCTION	1
Formulation of the Problem	1
Relevance of the Thesis.....	1
The Object of Research	2
The Aim of the Thesis	2
The Objectives of the Thesis	2
The Research Methodology.....	2
Scientific Novelty of the thesis.....	3
Practical Value of the Research Findings.....	3
Defended statements	4
Approval of Research Findings	4
Structure of the Thesis.....	4
1. ANALYSIS OF SCIENTIFIC WORKS ON INTERMODAL FREIGHT, GREEN TRANSPORT CORRIDORS AND INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS PROBLEMS	7
1.1. Formation principles of green transport corridor.....	8
1.2. Analysis of scientific works on intermodal freight thematic	17
1.3. The review of intelligent transport systems for intermodal freight	27
1.3.1. Application of intelligent transport systems technologies for intermodal transport	30
1.3.2. Findings on road weather conditions impact on the average traffic speed on the route	34

1.4. Conclusions of the chapter 1 and the formulation of objectives.....	39
2. RESEARCH ON OPTIMAL ROUTING BY USING INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM'S DATA ALONG THE GREEN TRANSPORT CORRIDOR.....	41
2.1. Intelligent transport system's elements in Green Transport Corridor	42
2.2. Formation of Green Transport Corridors topological map crossing Lithuania....	48
2.3. Green Transport Corridor optimal intermodal routing model algorithm	49
2.3.1. Road weather conditions impact on average traffic speed on the intermodal route	54
2.3.2. Application of dynamic programming method for optimal intermodal route identification model.....	60
2.4. Conclusions of the chapter 2	61
3. APPLICATION OF OPTIMAL INTERMODAL ROUTE MODEL IN GREEN TRANSPORT CORRIDOR	63
3.1. Road weather conditions impact on traffic average speed in the green transport corridor results.....	63
3.2. Results of problem solution of dynamic programming by Visual basic application programming language code for determination of the optimal intermodal route	81
3.3. Conclusions of the chapter 3	88
GENERAL CONCLUSIONS	89
REFERENCES	91
LIST OF PUBLICATIONS BY THE AUTHOR ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION	105
SUMMARY IN ENGLISH.....	107
ANNEXES ¹	125
Annex A. Supergreen project's indicated key performance indicators in Green Transport Corridor	126
Annex B. Criteria of Green Transport Corridors for the evaluation.....	127
Annex C. Optimal intermodal route's Visual basic application code.....	128
Annex D. Research of road weather data	130
Annex E. Railway route network	131
Annex F. Road transport network	132
Annex G. Vertexes and edges with crossings.....	133
Annex H. Map of road weather information Stations.....	134
Annex I. Map of traffic intensity calculators.....	135
Annex J. Agreements of co-authors to provide published materials in the thesis ...	136
Annex K. Author's scientific publications on the topic of the thesis	140

¹Annexes are available in the CD attached to the dissertation

Ivadas

Problemos formulavimas

Siekiant užtikrinti nenutrūkstamą ir savalaikę įvairiarūšių krovinių (IK) plėtotę žaliajame transporto koridoriuje (ŽTK), norint išvengti gaisrų, maršrutų keitimo ar transporto priemonių (TP) prastovų, svarbu įvertinti vidutinio transporto priemonių srauto (TPS) greičio priklausomybę nuo kelių oro sąlygų (KOS).

Plėtojant krovinių vežimus įvairiarūšiu transportu žaliuoju koridoriumi, svarbu įvertinti ne tik neigiamo poveikio aplinkai aspektus. Turi būti sprendžiami optimalių maršrutų uždaviniai, kurie remtųsi intelektinių transporto sistemų (ITS) (esančių išilgai ŽTK) teikiamais duomenimis.

Darbo aktualumas

Atlikta mokslinės literatūros ir užsienio šalių patirties analizė rodo, kad žaliasis transporto koridorius, pasižyminčio mažesne aplinkos tarša, turi būti orientuotas į įvairiarūšių krovinių vežimą ir remtis pažangių technologijų taikymu. Dėl vieningos intelektinių transporto sistemų taikymo įvairiarūšių krovinių vežime tyrimo metodikos trūkumo. Autorė atliko intelektinių transporto sistemų duomenų naudojimo principų, sprendžiant optimizavimo uždavinius, susijusių su vežimo

trukmės trumpinimu, optimalaus atstumo maršrutų parinkimu ir neigiamo poveikio aplinkai mažinimu, analizę.

Tyrimo objektas

Įvairiarūšių krovinių (IK) optimalaus maršruto žaliuoju transporto koridoriu (ŽTK) modelis, skirtas neigiamiems transporto poveikio aplinkai rodikliams (TPAR) mažinti (maršruto atstumui, trukmei ir emisijos kiekiui).

Darbo tikslas

Sukurti įvairiarūšių krovinių (IK) vežimo žaliuoju transporto koridoriu (ŽTK) matematiniu modeliavimu pagrįstą optimalaus maršruto parinkimo modelį, naudojant kelių oro sąlygų (KOSIS) stotelių ir eismo intensyvumo (EII) skaičiuotuvų duomenų bazes.

Darbo uždaviniai

1. Nustatyti kriterijus, turinčius įtaką transporto poveikio aplinkai rodikliams (TPAR) (maršruto atstumas, trukmė ir emisijos kiekis), vežant įvairiarūšius krovinius (IK) žaliuoju transporto koridoriu (ŽTK).
2. Taikant dinaminio programavimo Belmano matematinį modelį, sukurti programavimo kalbos kodą (Visual basic application), skirtą optimalių maršrutų uždaviniams išspręsti.
3. Taikant eksperimentinio tyrimo metodą patikrinti sukurtą įvairiarūšių krovinių (IK) optimalaus maršruto modelio žaliuoju transporto koridoriu (ŽTK) korektiškumą.
4. Pateikti moksliniais tyrimais pagrįstas išvadas, skirtas optimalaus maršruto žaliuoju transporto koridoriu modeliui sukurti.

Tyrimų metodai

Taikomi matematinio modeliavimo, dinaminio programavimo, eksperimentinio tyrimo (skaitiniai ir analitiniai) ir duomenų grupavimo metodai. Priemonės: programa Visual basic application, ITS (kelių oro sąlygų stotelių ir eismo intensyvumo skaitiklių) įrenginių duomenys.

Darbo mokslinis naujumas

1. Sudarytas matematinis modelis įvairiarūšių krovinių (IK) optimaliam maršrutui pagal atitinkamus kriterijus žaliajame transporto koridoriuje (ŽTK) parinkti.
2. Įvairiarūšių krovinių (IK) optimalaus maršruto modelio pagrindu sudarytas ITS duomenų sąsajos modelis transporto priemonių (TP) eismo charakteristikoms aprašyti ir sukurtas kelių oro sąlygų įtakos vidutiniam transporto priemonių srauto (TPS) greičiui nustatymui algoritmas.
3. Sudarytas originalus ITS įrenginių renkamų duomenų taikymo modelis įvairiarūšių krovinių (IK) maršrutų žaliuoju transporto koridoriumi (ŽTK) optimizavimo uždaviniams spręsti.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Remiantis atliktų teorinių ir eksperimentinių tyrimų rezultatais, sukurtas optimalių įvairiarūšių krovinių maršrutų žaliaisiais transporto koridoriais (ŽTK) nustatymo modelis. Šiame modelyje naudojamas sudarytas Lietuvos žaliojo transporto koridoriaus (ŽTK) topologinis žemėlapis su jam priklausančių nustatytų elementų ir ITS duomenų baze, kuris leis trumpinti įvairiarūšių krovinius vežančių transporto priemonių prastovas, mažinti maršrutui trukmę ir nustatyti emisijos kiekį pagal pasirinktą transporto priemonę maršrute. Įvairiarūšių krovinių optimalaus maršruto modelis galės būti taikomas vežant IK ne tik Lietuvoje, bet ir globaliais (tolimais) maršrutais..

Ginamieji teiginiai

1. Įvairiarūšių krovinių (IK) optimalaus maršruto žaliuoju transporto koridoriumi (ŽTK) modelis turi būti susietas su intelektine transporto sistema bei turėti nustatytus optimizuojamus kriterijus.
2. Kuriamo įvairiarūšių krovinių optimalaus maršruto modelyje oro sąlygos įtakos turi vežimui, poveikis mobilumui išreiškiamas gaištimi, spūstimis, sumažėjusiu transporto priemonių srauto (TPS) vidutiniu greičiu žaliajame transporto koridoriuje (ŽTK).

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema paskelbta vienuolika mokslinių publikacijų: viena – ISI Web of Science duomenų bazėje, dvi – recenzuojamose mokslo žurnaluose, trys – recenzuojamuose užsienio tarptautinių konferencijų leidiniuose, penkios – recenzuojamuose Lietuvos tarptautinių konferencijų leidiniuose.

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti devyniose mokslinėse konferencijose:

1. Tarptautinėje konferencijoje „Transport Means“ 2011 m. Kaune, Lietuvoje (du);
2. Jaunųjų mokslininkų konferencijose „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2012 m. Vilniuje, Lietuvoje (vienas);
3. *Reliability and statistics in transportation and communication* (RelStat'11) 2011 m. Rygoje, Latvijoje (vienas);
4. *Reliability and statistics in transportation and communication* (RelStat'13) 2013 m. Rygoje, Latvijoje (du);
5. Tarptautinėje konferencijoje „TRANSBALTICA 2013“ 2013 m. Vilniuje, Lietuvoje (vienas);
6. Tarptautinėje konferencijoje „TRANSBALTICA 2011“ 2011 m. Vilniuje, Lietuvoje (du).

Disertacijos struktūra

Darbą sudaro įvadas ir trys skyriai: mokslinių darbų, skirtų įvairiarūšių krovinių, žaliųjų transporto koridorių ir intelektinių transporto sistemų problematikai, analizė, optimalaus maršruto žaliuoju transporto koridoriumi sudarymo, taikant intelektinių transporto sistemų duomenis, tyrimas, optimalaus maršruto žaliuoju transporto koridoriumi modelio taikymas. Pateiktos darbo bendrosios išvados, literatūros sąrašas, autorės mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas, vienuolika priedų.

Darbo apimtis – 125 puslapių be priedų. Tekste panaudota 19 numeruotų formulių, 36 paveikslai ir 5 lentelės. Rašant disertaciją vadovautasi 156 mokslinės literatūros ir kitais šaltiniais.

Padėka

Esu dėkinga visiems šios disertacijos gynimo tarybos nariams už pateiktas pastabas ir kritiką, kurią labai vertinu ir tikiuosi atsižvelgti ateityje rengdama kitus mokslinius darbus.

Prof. Adolfas Baubliui už pasidalijimą patirtimi bei nuolatinį palaikymą doktorantūros studijų metu, dr. Algirdui Šakaliui už suteiktą galimybę dirbti mokslinį darbą bei įgautas vertingas žinias.

Dėkoju disertacijos recenzentams prof. Henrikui Sivilevičiui ir prof. Arūnui Andziuliui atidžiai perskaičiusiems disertaciją ir pateikusiems vertingus patarimus, pasiūlymus bei kritines pastabas, padėjusias tobulinti disertaciją. Noriu padėkoti savo mokslinei vadovei dr. Aldonai Jarašūnienei už vertingas žinias ir bendradarbiavimą skelbiant šiame darbe pateiktus rezultatus.

Nuoširdžiai dėkoju savo šeimai už jų meilę, moralinį palaikymą, kantrybę ir supratimą pasirinktame kelyje.

Mokslinių darbų, skirtų įvairiarūšių krovinių, žaliųjų transporto koridorių ir intelektinių transporto sistemų problematikai, analizė

Šiame skyriuje nagrinėjami Lietuvos ir užsienio šalių moksliniai literatūros šaltiniai ir darbai, susiję su įvairiarūšių krovinių vežimo žaliuoju transporto koridoriumi (ŽTK) ir intelektinių transporto sistemų teikiamų duomenų taikymo problematika. Tiriama žaliuojo transporto koridoriaus, pasižyminčio mažesne aplinkos tarša, sudarymo principai įvairiarūšių krovinių vežimui.

Pabrėžiama ITS svarba vežant įvairiarūšius krovinius žaliuoju transporto koridoriumi, nes vežėjai, rinkdamiesi žaliąjį transporto koridorių (ŽTK), orientuoti ne tik vežti krovinius aplinkos neteršiančiu transportu, bet ir siekia įvertinti ne tik ekonominę naudą, transporto išlaidas ir važiavimo trukmę. Pabrėžiama, kad, naudojant ITS, mažinama maršruto trukmė pagal esamas kelių eismo sąlygas. Nepalankios oro sąlygos turi įtakos vežimui, poveikis mobilumui išreiškiamas gaisrimis, spūstimis, sumažėjusiu transporto priemonių (TP) srauto vidutiniu greičiu. Šio skyriaus medžiaga buvo publikuota straipsniuose: Greičiūnė *et al.* (2013), Jarašūnienė *et al.* (2012), Miliauskaitė (2011).

1.1. Žaliojo transporto koridoriaus sudarymo principai

Žaliojo transporto koridoriaus kaip transporto organizavimo sistemos samprata pirmiausia nurodo į mažesnę neigiamą poveikį aplinkai ir yra grindžiamas žaliojo transporto eksploatavimu. Istoriskai žaliojo transporto koridoriaus koncepcija buvo pradėta formuoti JAV, Kanadoje ir kai kuriose Skandinavijos šalyse (Kamieniecki 1993). Ankstyvuoju etapu žaliasis transportas buvo siejamas su transporto priemonėmis, nenaudojančiomis degalų arba naudojančiomis ypač mažai degalų: dviračiais, elektromobiliais ir kt. Tačiau plėtojant idėją, pradėta taikyti žaliojo transporto koncepcija ne tik lokalioms urbanizuotoms erdvėms, bet ir logistinėms transporto grandinėms.

Transporto koridoriai yra kelių (maršrutų) jungtys, dažnai linijinės. Perkrovimo terminalai ir paslaugos gali būti susietos su keliomis transporto rūšimis.

Transporto koridoriui būdinga:

- transporto koncentracija vežant nacionalinius ir tarptautinius krovinius ilgaus atstumais;
- efektyvūs logistikos sprendimai, kai kroviniai gali būti vežami transporto grandinėmis nuo taško A iki taško B, sudarytomis iš vienos ar kelių skirtingų transporto rūšių;
- aptarnauja didelius krovinių srautus;
- koridorius apima optimaliai veikiančius terminalus ir paslaugas vartotojams;
- koridorius naudojamas kaip logistikos plėtros ir sprendimų demonstravimo (informacinių sistemų, bendradarbiavimo modelių ir technologijų) sistema;
- koridorius sudarytas iš tam tikro rinkinio alternatyvių sprendimų tenkinti transporto paklausą.

Tarptautiniai krovinių vežimo geležinkeliais koridoriai, sudarantys konkurencingo krovinių vežimo Europos geležinkeliais tinklą, sukurti tam, kad atitiktų transeuropinio transporto tinklą (TEN-T) ir (arba) Europos geležinkelių eismo valdymo sistemos (ERTMS) koridorius.

Transeuropinių transporto tinklų (TEN-T) sukūrimo tikslas – sukurti įvairiarūšio transporto tinklą Europoje, diegiant transporto infrastruktūrą ir įrangą. Susisiekimas su terminalais sujungiamas geležinkeliais, automobilių keliais, jūrų ir vidaus vandenimis. Tai pasiekama taikant IRT (informacijos ir ryšių technologijas), tokias kaip ITS (Jespersen, Lohse 2012).

Krovinių vežimo geležinkelių transportu koncepciją nagrinėja Ludvigsen, Klæboe (2010), naudodami ERTMS koridorius, į kurių sudėtį įeina tokios

geležinkelių linijos, kuriose įdiegtos ryšių priemonės traukinių srautui valdyti. ERTMS sudaro du elementai: ERTMS/ETCS (angl. European rail traffic management system / European train control system) ir ERTMS / GSM-R (angl. European rail traffic management system / Global System for Mobile Communications-Railways). Lietuva į ERTMS tinklus integruojasi įdiegdama radijo ryšio GSM-R geležinkelio linijose. ERTMS sistema pagrįsta kontrolės, valdymo ir signalizacijos posistemiais (Batarlienė 2011).

Svarbia sudedamąja žaliojo transporto koridoriaus dalimi tapo įvairiarūšio transporto logistikos ir aplinką tausojančių (angl. *space-saving*) transporto priemonių plėtra (Root 2003). Formuluoti žaliojo transporto koncepciją paskatino aplinkosaugos organizacijų pateikti duomenys apie tai, kad transporto sistemos sunaudoja apie 20 % pasaulio energinių išteklių ir išmeta į aplinką 25 % anglies dioksido (World Energy Council 2007). Ypač auga transporto į aplinką išmetamų medžiagų, sukeliančių šiltnamio efektą, kiekis.

Pastaraisiais metais kelių transporto infrastruktūroje buvo vykdoma daugiau modernizavimo ir atnaujinimo projektų negu geležinkeliuose, tai skatino vežėjus plėtoti kelių transporto verslą. Todėl padidėjo krovinų apyvarta ir kelių transporto įmonių pajamos, tačiau padidėjo triukšmas, oro tarša, padaugėjo žuvusiųjų keliuose.

Išanalizavus ES teisinę bazę (baltoji knyga „European transport policy for 2010: time to decide“ (COM(2001) 370 final), EK komunikatas „Keep Europe moving – sustainable mobility for our continent“ (COM(2006) 314 final.), EK komunikatas „Logistics: Keeping freight moving“ (COM(2007) 606 final), EK komunikatas „Greening Transport: new Commission package to drive the market towards sustainability“ (COM(2008) 433), EK komunikatas „A sustainable future for transport: Towards an integrated, technology-led and user friendly system“ (COM(2009) 279 final), ES Baltijos jūros regiono strategija (COM(2009) 248 final), galima teigti, kad iki šiol Europos lygmeniu žaliojo transporto koncepcija dar nėra suformuota. Šiuose dokumentuose pateikiamas teorinius žaliojo transporto apibūdinimas, tačiau mažai dėmesio skiriama žaliojo transporto sistemoms ir koridoriams.

Europoje projektai, susiję su žaliaisiais transporto koridoriais, yra išsivystę iš egzistuojančių TEN-T, naudojant vieną iš alternatyvių modelių:

- modelis iš viršaus į apačią, kai teisės aktai naudojami kaip priemonė žaliesiems transporto koridoriams pripažinti, tam tikriems maršrutams išskirti, sudarnintiems standartams, supaprastintoms šalių valstybinių sienų kirtimo procedūroms atlikti;
- modelis iš apačios į viršų, kai regioninės institucijos, kartu su pagrindiniais transporto veikėjais, plėtoja ir tobulina koridorius bei skatina prekybos ryšius, viešindamos galimus kooperacijos ryšius. Tokį

modelį taiko EWTC (East West Transport Corridor), *Scandria*, *TransBaltic*, *Bothnian* tarptautiniai projektai.

Problema kyla dėl ES siūlomos žaliojo transporto koridoriaus koncepcijos praktinio taikymo. Nes reikia suderinti koridoriaus „žalumą“ (darną su aplinkosauga) ir tokio koridoriaus konkurencingumą, t. y. ES siūloma koncepcija išryškina vidinį konfliktą tarp koridoriaus „žalinimo“, gryninimo ir siekio paversti jį konkurencinga transporto organizavimo sistema, lyginant su kitomis tradicinėmis sistemomis. Todėl, plėtojant žaliojo koridoriaus modelį, būtina nusistatyti aiškius rodiklius, neprieštaraujančius ekonominei plėtros logikai.

Sjögren (2010) teigimu, žaliojo koridoriaus esmė – Europai nereikia daugiau koridorių, jai reikia daugiau tvarių ir efektyvių sprendimų. Taip stengiantis inovatyviomis ir pažangiomis technologijomis išnaudoti esamą Europos transporto sistemos potencialą. Europos Komisija (COM(2009) 279 final) nustato, kad ŽTK turi remtis TEN-T koridorių tinklu. IRT ir įvairiarūšis transportas naudojami siekiant sumažinti suvartojamos energijos kiekį ir poveikį aplinkai. Stehle (2013) teigia, kad EK siūloma ŽTK sąvoka yra ypač sunku įvertinti poveikį aplinkai įgyvendinus šią koncepciją.

Swahn *et al.* (2011) aprašo žaliuosius koridorius kaip tvarius logistinius sprendimus, kurie mažina poveikį aplinkai, klimatui, saugumui ir yra apibrėžti dokumentuose, apimančiuose šiuos pagrindinius aspektus:

- integruota logistikos koncepcija optimaliai naudojant visas transporto rūšis;
- darnus valdymas atviras visiems veikėjams;
- nacionalinio ir tarptautinio krovinių vežimo koncentracija nustatyto ilgio transporto maršrutais;
- veiksmingai ir strategiškai išdėstyti krovos punktai, pritaikyta infrastruktūra;
- informacijos sistema, bendradarbiavimo modeliai ir technologijų platforma.

Kyster-Hansen *et al.* (2011) teigė, kad didelė dalį krovinių per ŽTK reikia vežti tarptautiniu ir tolimojo susisiektimo transportu, naudojant įvairiarūšį transportą, geležinkelių, vidaus vandenų, kelių transportą bei naudojant alternatyvius degalus.

Pagrindinis dėmesys turėtų būti skirtas intelektinėms transporto sistemoms (ITS), informacijos ir ryšių technologijų (IRT) sprendimams, kurie būtų įgyvendinami remiantis pripažintais standartais ir lengvai bei atvirai prieinami įvairiarūšių logistikos ir transporto koridorių operatoriams (Jespersen; Lohse 2012), kurie veža įvairiarūšių transportu didelius krovinių kiekius tolmais atstumais ir yra susieti su ITS ir joms prilygstančiomis sistemomis (COM 2007).

Perkrovus krovinius iš traukinio terminaluose „paskutinės mylios“ vežimui, turi būti naudojamos kelių transporto priemonės, o tai tiekėjui bei gavėjui leistu sutaupyti laiko ir išlaidų (Kyster-Hansen *et al.* 2011).

Vienas trūkumas tas, kad nei terminas „žalias“, nei sąvoka „koridorius“ nėra tiksliai apibrėžtas Europoje. „Žalias“ reiškia tam tikrą ekologinę veiklą, kuri turi būti vertinama pagal nustatytus nurodymus, metodus ar matavimus.

Žalieji koridoriai sudaryti iš transporto jungčių (kelių) ir mazgų (terminalų, uostų), siekiant sukurti sąlygas naudoti koridorius įgyvendinant ekonominę plėtrą, taikant veiksmingą transporto logistiką, plataus masto transporto sprendimams naudojant patikimą infrastruktūrą, remiantis reglamentais, apimančiais išlaidas, aplinką, kokybę, eismo saugumą.

Žaliuosius koridorius galima suskirstyti į tris tipus, kurie sąveikauja ir papildo vieną kitą:

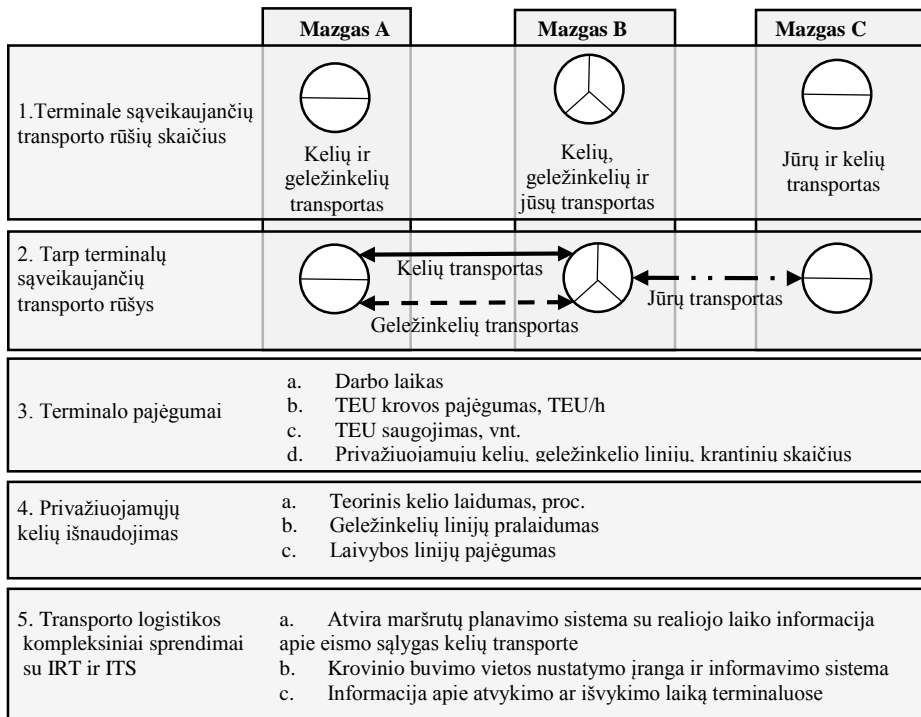
1. Koridoriai (jungtys ir mazgai). Koridorius yra geografiškai apibrėžtas Europos subkoridoriais ar juos palaikančiomis iniciatyvomis. Jam reikalinga transporto infrastruktūra, įskaitant fizinį ir komunikacinį aspektą. Koridorius skatina bendradarbiavimą tarp transporto rūšių ir optimalių jų naudojimą atitinkama transporto rūšimi, įskaitant transporto susikirtimo taškus (mazgus, terminalus ir t. t.), šiuo atveju 1.1 pav. mazgai A, B, C. Tai gali būti tiek nacionalinis, tiek tarpvalstybinis šalies valstybinę sieną kertantis koridorius (1.1 pav. 1 ir 2 punktas).
2. Transporto technika. Koridoriai susiję su įvairių transporto tipų įrangos naudojamu transporto operacijose. Pagrindinis dėmesys skiriamas perkrovimui tarp skirtingų transporto rūšių (1.1 pav. 3 ir 4 punktai).
3. Kompleksiniai transporto logistikos sprendimai, apimantys įvairius partnerius ir suinteresuotąsias šalis, kurios tarpusavyje sudaro verslo modelius, skatina efektyvumą ir mažina neigiamą ekologinį poveikį.

1.1 paveiksle pateikti ŽTK sandaros elementai skatina transportą kaip integruotų paslaugų ir savybių sistemą didinti sistemos veiksmingumą ir mažinti neigiamą ekologinį poveikį.

ŽTK rodiklių vertinimo metodika (matavimo dydžių išskyrimas) pateikta „Supergreen“ projekte (Panagakos, Psaraftis 2013). Jame išskirti žaliųjų transporto koridorių atrankos vertinimo kriterijai pateikti disertacijos A priede.

„Supergreen“ projekto ataskaitoje pateikti pagrindiniai veiklos rodikliai ir jų absoliučios ir santykinės vertės, tačiau nesudaryta jų skaičiavimo ir nustatymo metodika. To nėra ir EWTC II projekto parengtame žaliųjų transporto koridorių, priskirtų kiekvienam transporto koridoriaus veikėjui (transporto paslaugų teikėjui, siuntėjui ir koridoriaus valdytojui), pagrindinių veiklos rodiklių tyrime. „Supergreen“ projekte išankstinei atrankai buvo atrinkti 30 transporto koridorių, kurių analizei buvo naudojami trys kriterijai: koridoriaus ilgis, gyventojų skaičius išilgai koridoriaus, nustatytų kliūčių išilgai koridoriaus skaičius.

Tiek EWTCII, tiek „Supergreen“ projektai nurodo, kad ŽTK svarbus yra efektyvus esamos infrastruktūros naudojimas kartu su IRT ir ITS įvairiarūšiams kroviniams pervežti.



1.1 pav. Žaliojo transporto koridoriaus sandaros elementai (sudaryta autorės)

Fig. 1.1. Green transport corridor structure elements

Augant globalizacijai prognozuojama, kad tarp Europos Sąjungos šalių ir Rusijos, Turkijos bei Kinijos krovinių apyvarta augs kiekvienais metais ir iki 2020 m. turėtų padidėti dvigubai. Anot Ruane ir Sutherland (2002), globalizacija – tai tarptautinė integracija, apimanti įvairias įtakos sritis. Lietuvoje transporto ir logistikos sektorius sukuria apie dešimtadalį šalies bendrojo vidaus produkto ir yra tarp pirmaujančių šakų Lietuvos paslaugų eksporto srityje. 2012 m. ES krovinių kiekis pagal transporto rūšis pasiskirstė taip: didžiąją dalį krovinių apyvartos sudarė vežimas kelių transportu – net 45 % ir 37 % – jūrų transportu. Geležinkelių transportas, laikomas aplinkos neteršiančia transporto rūšimi, sudarė tik 11 %.

ES šalyse didžioji dalis krovinių apyvartos tenka kelių transportui. Tačiau tai sukelia ir nemažai problemų:

- automobilių grūstys pagrindiniuose keliuose ir miestuose;
- žalingas poveikis žmonių sveikatai ir aplinkai (transporto priemonių per metus išmetamų anglies dioksido (CO₂) dujų kiekis;
- nelaimingi atsitikimai keliuose.

Būtina sąlyga veiksmingoms transporto sistemoms – mažinti kelių spūstis, kurios Europai kasmet kainuoja maždaug 1 % bendrojo vidaus produkto (BVP). Numatoma, kad krovinių vežimo veiklos apimtis iki 2030 m. padidės maždaug 40 %, o iki 2050 m. – kiek daugiau nei 80 % (MEMO 2011). Dėl to siekiama sumažinti neigiamą poveikį iki minimumo daugiausia dėmesio skiriant šiltnamio efektą sukeliančioms dujoms (Swahn *et al.* 2011), skatinant prekybą ir krovinių vežimą. Neigiamam poveikiui mažinti pasitelkiama: naujos transporto priemonės (transporto parko atnaujinimas), krovinių perkėlimas ant aplinkai mažesnį neigiamą poveikį darančios transporto rūšies, naujų technologijų taikymas, mažesnis transporto priemonės suvartojamos energijos kiekis tobulinant procesus ir jų valdymą.

Konteinerių vežimas – vienas greičiausiai augančių segmentų vežimo srityje (Rodrigue, Notteboom 2009; Levinson 2010). Pasaulio konteinerių vežimas per metus jūrų transportu nuo 28, 7 mln. TEU, pervežtų 1990 m., išaugo iki 136,2 mln. TEU, pervežtų 2008 m. Pasaulio konteinerių metinės krovos apimtys 1980 m. siekė 36 mln. TEU, 1990 m. – 88 mln. TEU, 2008 m. – 535 mln. TEU. Nuo 1997 m. iki 2008 m. vidutinė pasaulinės konteinerių krovos apimtis per metus išaugo apie 9 %, tačiau pasaulinės ekonomikos krizės metu ši apimtis buvo sulėtėjusios ir 2008 m. siekė 4,3 %. 2009 m. apimtis pradėjo didėti ir jau 2010 m. metinė apyvarta, lyginant su 2009 m., padidėjo 12 %. Tai sudarė 140 mln. TEU. 2011 m. konteinerių apyvarta kilo, tačiau 2012 m. jos apimtis krito iki 2009 m. lygio ir sudarė 120 mln. TEU. Vidutinis 1 TEU svoris pasaulyje išaugo nuo 9,04 t 2006 m. iki 12,48 t 2012 m. Didėjant TEU srautams, CO₂ emisija didėja dėl vežimo dažnumo ir pervežamo kiekio, nes didžioji dalis TEU yra vežami kelių ir jūrų transportu.

Per pastaruosius 30 metų pasaulio konteinerių rinka padidėjo ir vidutinis metinis augimas pasiekė 8,4 %, o tai yra 2,7 karto daugiau nei vidutinis pasaulio BVP metinis augimas. Tai susidarė dėl pasaulinių prekybinių ryšių plėtros ir augančio konteinerizacijos lygio.

Nagrinėjant atskirų transporto rūšių sąveiką ir jų darbą įvairiuose transporto terminaluose, taip pat bendras atskirų transporto rūšių plėtros ir sąveikos tendencijas, technologinių terminalo galimybių tyrimus bei statistinius-tikimybinius transporto rūšių sąveikos vertinimus, sprendžiant transporto terminalų formalizavimo ir optimizavimo problemas bei uždavinius, svarų indėlį į bendrosios transporto sistemos teorijos ir politikos tyrimus įnešė Baublys (2003, 2009), Sivilevičius (2011). Tačiau, sprendžiant šiuos tyrimų uždavinius, nebuvo

įvertintas ITS teikiamų duomenų apdorojimas ir duomenų mainai, o tai yra aktualu šių dienų dinaminiams transporto sistemos procesų tyrimams.

Lietuvoje geležinkelių ir jūrų transportas yra glaudžiai susijęs (pagal Lietuvos krovos tendencijas daugiausia krovinių į geležinkelių transportą ir iš jo perkraunama Klaipėdos jūrų uoste), nes tranzitinių krovinių vežimas turi didelę įtaką šalies BVP. Kaina, pristatymo greitis ir patikimumas – tai veiksniai, lemiantys klientų sprendimą pasirinkti vežimo būdą ir rūšį. Todėl vežėjams, kurie veža ilgais atstumais, patartina optimizuoti būsimą maršrutą, pasirinkti tranzitines šalis (Baublys *et al.* 2003), kurias kerta tarptautiniai transporto koridoriai.

2013 m. apie 20 % TEU krovinių, perkrautų Klaipėdos uoste, vežami geležinkeliais. Likusi dalis TEU iš/j uostą vežama kelių ir jūrų transportu. Bendrai vertinant vieno TEU vidutiniui svoriui, Lietuvos kelių ir jūrų transportu 2013 m. konteineriuose pervežta 3,8 mln. t krovinių. Kelių transportu pervežta apie pusę šių konteinerių – 1,9 mln. t. Tarptautiniais maršrutais vežami konteineriai geležinkeliais Lietuvoje 2012 m. sudarė 96 % visų pervežamų konteinerių.

Nors Lietuvos BVP sumažėjo 2008 m. (LR statistikos departamentas 2013), krovinių apyvarta augo, o tai įrodo, kad, nepaisant pasaulinės ekonominės krizės poveikio, buvo gerai valdomi ir paskirstomi TP srautai kelių ir Lietuvos geležinkelių transporte. 2013 m. geležinkelių transportu vežta 48 mln. t krovinių (2,7 % mažiau negu 2012 m.), krovinių krova Klaipėdos valstybiniame jūrų uoste sumažėjo 5,2 % (33,4 mln. t), atitinkamai 7,4 % didėjo kelių ir 5,4 % – jūrų transportu vežtų krovinių kiekis (LRV 2014).

2011 m. transporto, sandėliavimo ir ryšių sektoriuje sukurta 12,7 mlrd. litų bendrosios pridėtinės vertės ir, palyginti su 2010 m., ši suma išaugo apie 17,3 % (2010 m. ji siekė 11,8 mlrd. litų).

Augant krovinių apyvartai, prioritetinėmis transporto rūšimis išlieka kelių ir geležinkelių transportas. Būtent geležinkelių transportas ES lygmeniu laikomas pagrindine transporto rūšimi, kurią naudojant, vykdoma žaliojo transporto plėtra.

Lietuvoje geležinkelių plėtra daro šią transporto rūšį patrauklią naudotojams: laisvai važiuoja visu ES geležinkelių tinklu (suderinta infrastruktūra ir riedmenys), efektyviai veikianti informacinė sistema, eismo grafikai, kurie sudaro sąlygas vartotojams planuoti krovinių vežimą.

Nagrinėdamas jūrų uostų sistemas ir sausumos terminalų tinklą ES, Podevins (2007) sudaro terminalų tinklą ir jų sąsajas su sausumos terminalais, remdamasis empiriniais tyrimais ir rinkos stebėjimais.

Southworth ir Peterson (2000) išsamiai nagrinėja įvairiarūšio transporto tinklų plėtrą. Ballis ir Golias (2004), tirdami transporto koridorius, vertina juos per išlaidų prizmę.

Anot Paulausko (2000), transporto koridorių kompleksinis tarpusavio įvertinimas yra gana sąlyginis. Santykinė viso krovinių srauto dalis, tenkanti konkrečiam transporto koridoriui, labai svarbi tais atvejais, kai artėjama prie

krovinių srautų ribinių dydžių (Paulauskas 2000). Lygindamas transporto koridorius tarpusavyje, autorius pasirinko daugiakriterinį metodą, kuris įvertina tokius veiksnius, kaip vežimo kaina, vežimo trukmė, krovinių saugumas, galimybė apeiti tam tikras transporto koridoriaus dalis, krovinių draudimo sistema, bankų sistema, tradicijos ir įpročiai.

Tradicinės transporto sistemos nėra lanksčios, nes, mažinant jų poveikį aplinkai, dažnai susidaro transporto spūstys, o didinant transporto sistemos mobilumą, paprastai didėja tarša, kyla grėsmė darniai socialinei ir ekonominei plėtrai (World Health Organisation 2002).

ŽTK turi būti orientuotas į įvairiarūšį transportą ir remtis pažangių technologijų taikymu tam, kad prisiderintų prie augančios krovinių vežimo apimtys ir prisidėtų prie aplinkosaugos darnos bei energijos naudojimo efektyvumo.

Panagakos, Psaraffis (2013) įvertino koridorių priklausomybę TEN-T tinklui, koridorių ilgį, koridorių tipą (sausumos, įvairiarūšis ES–ES šalys, įvairiarūšis ES – ne ES šalys) ir silpnąsias vietas (kliuvinius). Taip pat buvo įvesti papildomi koridorių vertinimo kriterijai: krovinių kiekis, krovinių rūšys, geografinė aprėptis, naudojamos transporto ir informacinės technologijos. Remiantis šio vertinimo rezultatais, buvo sudarytas pagrindinių ŽTK veiklos rodiklių sąrašas pagal skirtingas konteineriams vežti naudojamas transporto rūšis: kaina (eurai/tkm), vežimo trukmė (arba greitis, km/h), pristatymas laiku (tikslumas proc.), vežimų dažnumas (vnt./metus), CO₂ (g/tkm), SO_x (g/tkm).

Visi taršos rodikliai yra svarbūs, tačiau, atsižvelgiant į pasaulyje šiltnamio dujų atsiradimo šaltinius, jie susidaro iš dviejų pramonės sričių (EIA 2014):

- 1) elektros energijos gamybos (2010 m. sudarė 34 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų). Elektros energijos gamyba generuoja didžiąją dalį šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Daugiau nei 70 % elektros energijos gaunama iš iškastinio kuro deginimo, daugiausia anglies ir gamtinių dujų;

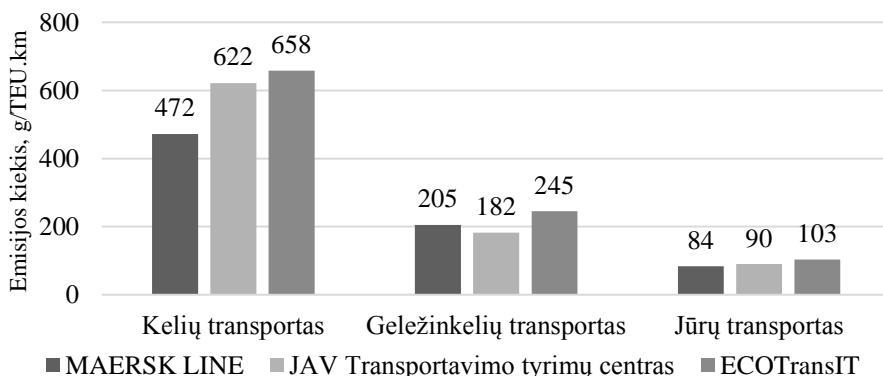
- 2) transporto (2010 m. sudarė 27 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio). Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos susidaro deginant iškastinį kurą sunkvežimiui, laivui, traukiniui ir lėktuvui. Apie 90 % kuro, naudojamo vežimui, yra naftos pagrindu.

2010 m. pasaulyje didžiausią šiltnamio dujų emisijos dalį sudarė CO₂ (net 76 %), kurios didžioji dalis buvo iš pramonės –22,8 %, iš transporto –14,3 %. 2010 m. apskaičiuota, kad šiltnamio dujos sudarė 80,4 % visų ES šalių emisijos kiekio.

Šiltnamio dujų emisijos sandara 2010 m. buvo tokia: CO₂ – 84,4 %, CH₄ – 8,6 %, N₂O – 7,2 %, kitos – 1,9 %. ES šalyse transporto išskiriamas šiltnamio dujų kiekis sudarė 19,8 %. Vertinant ES šalių santykinį CO₂ emisijos pokytį nuo 1990 m. iki 2010 m. transporto sektoriuje padidėjo iki 20 %, tai reiškia, kad transporto CO₂ emisija nuolat didėja.

2007–2011 m. pagal išskiriamą didžiausią šiltnamio dujų kiekį ES šalys išsidėstė taip: Vokietija (19,8 %), Jungtinė Karalystė (12,5 %), Prancūzija (11,1 %), Italija (10,6 %) ir Lenkija (8,5 %). Vertinant CO₂ kiekį Lietuvoje, 2008 m. jo kiekis buvo sumažėjęs beveik 26 %, tačiau nuo 2010 m. jis vėl pradėjo didėti ir, lyginant su 2009 m., padidėjo 5,6 %, o lyginant 2011 m. su 2010 m., padidėjo 12,5 %. Todėl dėl besikeičiančio jo kiekio būtina optimizuoti įvairiarūšio transporto procesus ITT.

Konteinerinės laivybos kompanijos MAERSK LINE pateiktais duomenimis, CO₂ vidutinis kiekis vienam TEU sudaro: kelių transporte – 472 g/TEUkm, geležinkelių transporte (dyzelinis traukinys) – 205 g/TEUkm, geležinkelių transporte (elektrinis traukinys) – 176 g/TEUkm, jūrų transporte – 84 g/TEUkm (1.2 pav.) (Kindberg 2013).



1.2 pav. CO₂ emisijos kiekis pagal skirtingus literatūros šaltinius, g/TEUkm (sudaryta autorės, remiantis Kindberg 2013; EcoTransIT World)

Fig. 1.2. CO₂ Emissions by different sources of literature, g/TEUkm

JAV transporto tyrimų departamentas CO₂ emisijos kiekį vienam TEU įvardija taip: geležinkelių transportas – 182 g/TEUkm, jūrų transportas – 90 g/TEUkm ir kelių transportas – 622 g/TEUkm (Kindberg 2013).

Europos emisijos skaičiavimo programoje ECOTransIT (ECOTransIT World) naudojami CO₂ dydžiai: kelių transportui – 658 g/TEUkm, geležinkelių transportui – 245 g/TEUkm, jūrų transportui – 103 g/TEUkm (1.2 pav.).

Kadangi įvairios transporto rūšys išskiria skirtingus CO₂ kiekius, tolesniuose tyrimuose bus vadovujamasi visų (prieš tai išvardytų) šaltinių rodiklių vidurkiais – teršalų kiekis geležinkelių transporte išreikštas 168,02 CO₂ g/TEUkm, o kelių transporte – 574 CO₂ g/TEUkm.

Pagal 1.2 paveikslą vaizduojamą didžiausią CO₂ emisijos kiekį išskiria kelių transportas, tačiau nėra nustatytas ir apibrėžtas teisiniais aktais ar standartais

bendras CO₂ emisijos kiekis (g/TEUkm), vežant vieną konteinerį vieno kilometro atstumu. Jaržemskienė (2007) mano, kad, siekiant skatinti įvairiarūšį transportą, ES turi skirti dėmesį ir aplinkosaugos veiksniams, tokiems kaip CO₂ emisija, tarša, triukšmas, prognozuojamas energetikos deficitas ateityje. Vilkelis ir Jakovlev (2014) įvardijo, kad automobilio gyvavimo ciklo 85 % išmetamųjų dujų kiekį sudaro automobilio eksploatacijos periodas, 10 % – gamyba, logistika, perdavimas ir 5 % – utilizavimas.

1.2. Mokslinių darbų įvairiarūšių krovinių vežimo tema analizė

Įvairiarūšis transportas laikomas pagrindiniu, leidžiančiu pasirinkti aplinkos neteršiančią transporto rūšį išilgai maršruto, kai emisijos mažinimas yra vienas iš ŽTK tikslų. Kitas svarbus veiksnys žaliajame transporto koridoriuje – tinkami krovos įrenginiai, inovatyvios transporto priemonės ir ITS, nes vežėjai, rinkdamiesi ŽTK, nori ne tik vežti krovinius aplinkos neteršiančiu transportu, bet ir norėtų gauti ekonominę naudą, taupyti išlaidas ir vežimo trukmę.

Lietuvos ir užsienio šalių mokslininkai Arnold *et al.* (2004), van Klink, van den Berg (1998), Panayides (2002), Macharis, Bontekoning (2004), Jaržemskienė (2007), Vasilis Vasiliauskas (2002) išskyrė tris įvairiarūšių krovinių vežimo elementus:

- infrastruktūra (keliai, geležinkeliai, terminalai);
- riedmenys ir traukos priemonės (automobiliai, puspriekabės, keičiamosios talpyklos, konteineriai, vagonai, vilkikai);
- informacinės sistemos.

Įvairiarūšio vežimo planavimą nagrinėjo Crainic, Kim (2007), Macharis, Bontekoning (2004). Šiuo metu įvairiarūšiam transportui dažniausiai būdinga kelių ir geležinkelių transporto sąveika (Arnold *et al.* 2004; Groothedde *et al.* 2005). Įvairiarūšį transportą taip pat tyrė Southworth, Peterson (2000), Macharis, Bontekoning (2004), Andersen, Crainic, Christiansen (2009).

Šiuo metu pasaulyje didėja pervežamų konteinerių apimtis, todėl atsiranda konteinerių terminalo sąveikos su kitomis transporto rūšimis poreikis, optimizuojant konteinerių terminalo operacijas (Steenken *et al.* 2004). Tiesioginė sausumos terminalų prieiga prie uostų terminalų yra pagrindinė konkurencingumo formavimo sąlyga (Notteboom, Rodrigue 2005).

Williams ir Hoel (1998) teigia, kad įvairiarūšių krovinių vežimas geležinkelių transportu negali konkuruoti su kelių transporto paslaugomis, esant mažesniai nei 400 km atstumui, nes kelių transportu vežami „paskutinės mylios“ kroviniai, o van Klink ir van den Berg (1998) vežimo įvardija 500 km atstumą.

Jungtinių Tautų Organizacija (JTO) (*Terminology...* 2001) įvairiarūši transportą apibrėžia taip: krovinį judėjimas viename ir tame pačiame pakrovimo vienetu ar kelių transporto priemonėje, kuri naudoja paeiliui dvi ar daugiau transporto rūšis, be krovinį perkrovimo keičiant važiavimo režimus.

Įvairiarūšis transportas apima įvairiarūšių transporto vienetų (ITV) vežimą tarpusavyje sujungtame tinkle, o tai labai įprasta įvairiarūšiam koridoriui.

Trys pagrindinės problemos, susijusios su įvairiarūšių transportu, yra kokybė, kaina ir aprėptis. Geležinkelių įvairiarūšis transportas yra lėtesnis, mažiau patikimas ir brangesnis nei kelių transportas, jį siūloma rinktis vežant krovinį koridoriuose. Todėl, sprendžiant šias problemas, galima padidinti įvairiarūšių krovinį apimtį įvairiarūšio transporto tinkle (ITT) (Wichser *et al.* 2007). ITT – tai logistikos sistemos sąsaja, apimanti įvairias transporto rūšis (geležinkelių, jūrų, kelių ir k. t.), vežti krovinį iš/į išeities ir paskirties vietas laiku, pageidautina sąlyga – kuo mažesnėmis sąnaudomis. Sąnaudų dydžiams turi įtakos vežimo apimtis, krovinį perkrovimo įkainiai, vežimo greitis ir išlaidos, kurios susidaro keičiant įvairiarūšio vežimo transporto rūšis (Banomyong, Beresford 2001). Caris *et al.* (2009) ITT vertino kaip sudėtingą sistemą, dėl to autorius naudojo įvykio imitacinį modelį tinklo sistemoms suprasti ir tinklo konfigūracijų analizei.

Kad ITT būtų veiksmingas ir konkurencingas, turi būti planuojamos ir sinchronizuojamos logistikos operacijos bei informacijos mainai tarp suinteresuotų šalių, būtina veiksmingai ir efektyviai naudoti ITS, plėtojant ITT taktinį ir operatyvų valdymą (Boschian *et al.* 2010). ITS užtikrina šiuos privalumus (Kiran 2007):

- didina vežimo sistemos operacijų efektyvumą ir pajėgumą;
- didina (vežimo) mobilumą, patogumą ir komfortą;
- gerina vežimo sistemos saugumą;
- mažina vartojamos energijos kiekį ir išlaidas aplinkos apsaugai;
- didina ekonomikos produktyvumą.

Crainic ir Kim (2007), suformuluodami įvairiarūšių krovinį transporto sistemą, pateikia ją kaip mazgo ir spindulių (kelių) tinklą. Sukurti geležinkelių koridoriai sudarė sąlygas konkuruoti su kelių transportu ne tik pagal įvairiarūšio vežimo kainą, bet ir pagal trukmę (Rizzoli *et al.* 2002).

Įvairiarūšio terminalo vienetų (ITV) srautų ir vidaus transporto rūšių terminalų modelį pateikė Rizzoli *et al.* (2002). Įvairiarūšius terminalus jis tarpusavyje sujungė geležinkelių koridoriu, o kiekvienas terminalas aptarnauja vartotoją kelių tinklu.

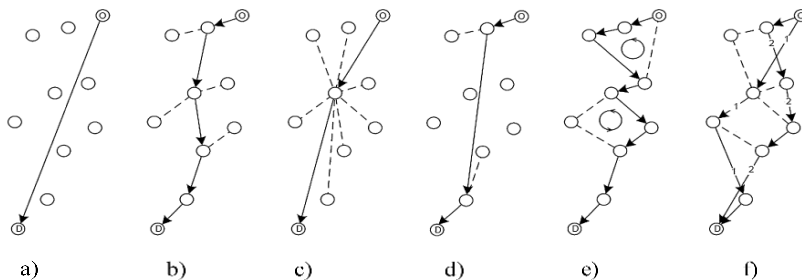
Konteinerinių traukinių nereguliarumas, gaištis ir šių reiškinų žalos masto nesuvokimas – pagrindinė krovininių transporto srautų valdymo problema. Sumažinti krovinį perkrovimo ar manevravimo išlaidas galima naudojant maršruto jungties „terminalas – terminalas arba šaudyklinis terminalas“ paslaugą įvairiarūšio transporto tinkle su santykinai nedideliu mazgų skaičiumi, kurie

susieti koridoriais su pagrindiniais ekonominiais regionais ir jūrų uostais, paliekant krovinių privežimą iki terminalų kelių transportui. Dėl to išryškėja naudojimosi kelių transportu svarba, nes kelių transportas yra lankstesnis (t. y. galintis keisti maršrutą priklausomai nuo aplinkos sąlygų), tačiau juo pervežami krovinių kiekiai yra mažesni. Tačiau gaišties trukmė gali susidaryti ir neteisingai pasirinkus įvairiarūšio krovinių vežimo maršrutą.

Įvairiarūšiai kroviniai gali būti grindžiami konsolidavimu, kai kroviniai iš spindulinio tinklo atvežami į vieną terminalą (Crainic 2009). Dažniausiai konteinerių pristatymas į tinklą apima šiuos veiksmus: konteineriai surenkami iš siuntėjų, pasinaudojant vežėjų vežimo paslaugomis jie perkraunami terminaluose, t. y. uostų, geležinkelių ir kelių terminaluose bei pasienio stotyse, ir pristatomi į paskirties vietą. Perkrovimo terminalai transporto koridoriuje vadinami mazgais, kuriuose konteineriai rūšiuojami ir pakeičiama transporto rūšis (Meng, Wang 2011).

Maždaug 90 % pasaulio krovinių vežami įvairiarūšiais konteineriais, kurie vežami krovininiais laivais, traukiniais ir lėktuvais. Įvairiarūšiai konteineriai yra kelių formatų, kai kurie iš jų apibrėžti ISO standartais. Įvairiarūšiams konteineriams vežti naudojama daug įvairios infrastruktūros, pvz., krovos kranai, perkrovimo mazgai ir krovininės transporto priemonės.

Caris *et al.* (2013) pristato ITT topologiją (1.3 pav.), tačiau nereikia pamiršti sistemoje ir įvairiarūšio transporto tinkle veikiančių transporto rūšių sąveikos maršruto grafų (1.5 pav.).



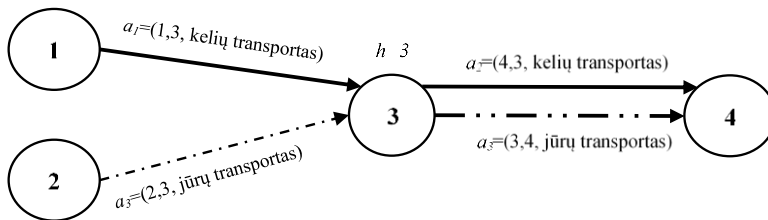
1.3 pav. Transporto tinklo topologija: a) tiesioginė jungtis; b) koridorius; c) spindulinė jungtis; d) sujungti mazgai; e) statiniai maršrutai; f) dinaminiai maršrutai (Caris *et al.* 2013)

Fig. 1.3. Transport network topology: a) direct connection; b) corridor; c) spoke connector; d) connecting nodes; e) static routes; f) dynamic routing (Caris *et al.* 2013)

Norint aiškiai suprati transporto koridoriaus išsidėstymą, reikia atskirti jo topologiją (Caris *et al.* 2013). Santykinai mažai buvo atlikta įvairiarūšio krovinių vežimo paslaugų tinklo modelių tyrimų ir ypač nustatant optimalius krovinių konsolidavimo procesus ir strategiją, kas yra svarbu Lietuvos atveju, nes yra ne

vienas veikiantis įvairiarūšis terminalas. Tačiau norint formuoti ŽTK, svarbu sudaryti transporto tinklo topologiją (pagal Caris *et al.* 2013 siūlomus pavyzdžius 1.3 pav.), grandinę terminalų su jungtimis tarp jų (atsižvelgiant į skirtingas transporto rūšis jose, 1.4 pav.), kurie yra įvairiarūšio vežimo dalyviai.

Vežimo išeities ir paskirties taškų (angl. OD) poros (1.4 pav.), kur išeities taškai yra 1 ir 2, o paskirties taškas – 4, yra svarbios apibūdinant vežimą tam tikrame regione ir analizuojant transporto srautus. OD poros sudarytos iš maršrutų tarp regionų informacijos (Abrahamsson 1998).



1.4 pav. Fizinė ir operacinė įvairiarūšio transporto tinklo sąveikos schema
Fig. 1.4. Physical and operational intermodal transport network scheme

Russel *et al.* (2007) pabrėžia, kad koridorių mazguose greitai ir efektyviai perkraunami krovinių, o vėliau jie išvežiojami spinduliniu tinklu. Jų manymu, kad neatsiejama dalis mazguose yra transporto valdymas, kurį sudaro infrastruktūra, eismo kontrolės sistemos, padėties nustatymo sistemos ir navigacinės sistemos. Įvairiarūšių srautų tyrimų temos apima terminalo tinklų projektavimą, įvairiarūšio vežimo paslaugų tinklų projektavimą, įvairiarūšio transporto vežimo paslaugų operacijas ir informacinių ryšių technologijas (IRT). Krovinių tyrimo metodus tyrė Burgess (2001), European Transport Modelling & Scenarios... (2006) ir De Jong *et al.* (2004).

Mokslininkai Arnold *et al.* (2004), Racunica ir Wynter (2005) įvairiarūšių krovinių tyrimams naudoja pagrindinį veiksnį – finansines išlaidas. Modelis taikomas siekiant nustatyti vežimo paslaugas tarp terminalų Europoje ir apskaičiuoti galimas šio vežimo apimtis, nustatant terminalo steigiamo vietą.

PTV Group (2012) siūlo tinklo ir poveikio modelį, į kurio sudėtį įeina visi keturi klasikinio transporto lygiai, kurie gali būti apskaičiuoti kartu su maršruto paskyrimu (kelionės pradžios ir pabaigos maršruto parinkimas ir apimtis), maršruto parinkimu, maršruto pasiskirstymu ir transporto rūšies parinkimu (1.5 pav.).

Nagrinėjant įvairiarūšių krovinių modelius ir procesus, buvo tiriami mokslininkų darbai, kuriuose aptariamos įvairios transporto rūšių sandūros. Pavyzdžiui, įvairiarūšio tinklo pusiausvyros algoritmą savo darbe sprendžia

Chang ir Ziliaskopoulou (2007), o įvairiarūšio vidaus vandenų tinklo modelius nagrinėja Caris *et al.* (2007).

Nagrinėjant įvairiarūšius krovinių srautus, pirmiausia reikia susikonsoliduoti į šių krovinių vežimo paklausą, taikant standartinį krovinių vežimo paklausos modelį.

Koridorių srautų tyrimams Yatskiv ir Savrasovs (2010) naudoja simuliacijai PTV Groups (2012) VISUM priemonę. Tačiau simuliacijos objektai turi daug sudedamųjų dalių ir gali būti taikomi tik tam tikrai koridoriaus daliai (Yatskiv *et al.* 2007) ar transporto rūšių susikirtimo mazguose.

Krovinių vežimo paklausos modelis apima veiksmus, kurių seką galima keisti (Ingalls *et al.* 2003), o modelis kuriamas keturiais žingsniais:

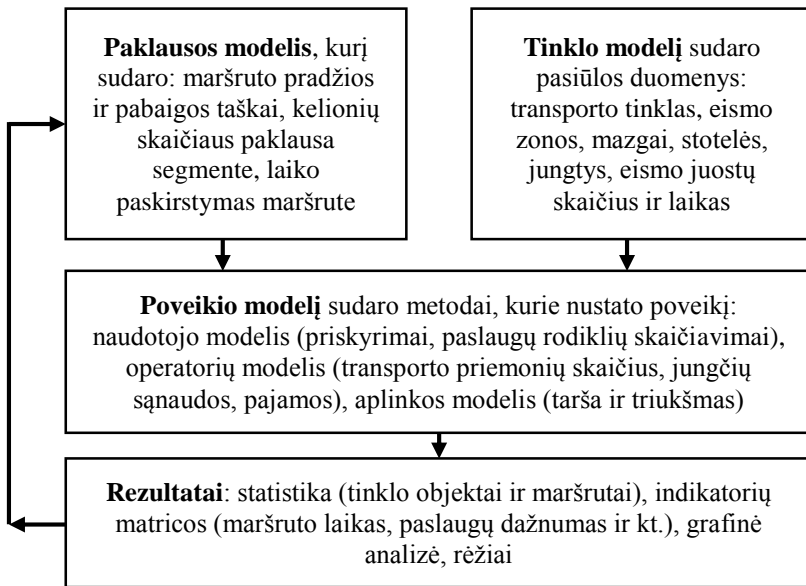
- kroviniams generuoti (krovinių gamybai ir kroviniams pritraukti) naudojami regresiniai modeliai;
- kroviniams paskirstyti naudojamas gravitacijos modelis arba matematinio programavimo modelis;
- transporto rūšims paskirstyti naudojami istoriniai pasirinkimo duomenys;
- krovinių užduočiai spręsti naudojamas konkrečios transporto rūšies tinklo režimo modelis (Ingalls *et al.* 2003).

Lyginant keleivių vežimo modeliavimą su krovinių vežimo modeliavimu, krovinių vežimo modeliavimas dar mažai nagrinėtas. Jo modelį sudaro:

- krovinių ir ekonomikos ryšiai;
- logistikos elgesys;
- krovinių vežimo maršrutai ir tinklai.

Modeliuojant įvairiarūšių krovinių vežimą, vienas svarbiausių aspektų yra įvairiarūšio transporto tinklas (ITT), kuriame veikia įvairios transporto rūšys, transporto veikėjai, terminalai ir procesai juose bei galimi vežimo maršrutai tarp jų. Crainic *et al.* (1990), Jourquin *et al.* (1999), Southworth ir Peterson (2000) pasiūlė transporto tinklo modelį, tinkamą įvairiarūšiam transportui, kuriame pabrėžiama, kad kroviniai gali būti perkrauti į kitą transporto rūšį. Tačiau modeliuojant įvairiarūšių krovinių srautus, reikia atsižvelgti į infrastruktūros pajėgumą, esamus transporto srautus ir poveikį aplinkai. Svarbu, kad vežimas vyktų sklandžiai, kad įvairiarūšiai krovinių srautai būtų nepertraukiami ir be gaisčių, nes gaisčiai gali neigiamai paveikti skirtingų transporto rūšių sąveiką (terminaluose).

Norint sukurti krovinių srautų modeliavimo sistemą, būtina sudaryti tinklą iš punktų ir juos jungiančių pagrindinių krovinių vežimo kelių. Statino ir Bogdevičius (2008) sudarė charakteringų tranzito ruožų grafinį modelį, įvertinę pagrindinius veiksnius, turinčius įtaką tranzitiniam srautams.



1.5 pav. PTV VISUM programoje naudojamo tinklo ir poveikio schema (PTV Groups 2012)

Fig. 1.5. Network and the impact scheme used in PTV VISUM programme (PTV Groups 2012)

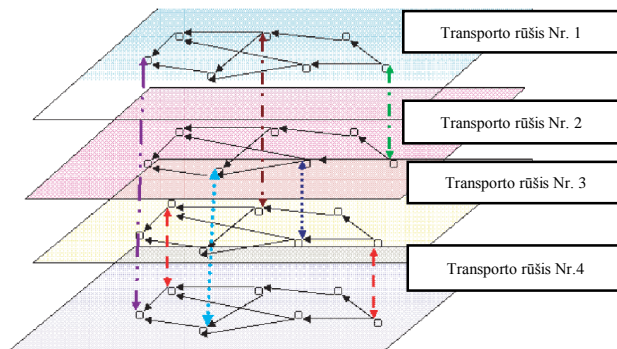
Krovinių maršruto pasirinkimo modeliui taikomas keturių lygių metodas, tačiau, kaip teigia Maerivoet ir de Moor (2005), yra daug modelių, bet nė vieno tinkamo. Zhang *et al.* (2008) pateikia įvairiarūšio krovinių tinklo modeliavimą, kuris taikomas didelio masto geležinkelių tinklui ir įvairiarūšio tinklo paskirstymui pagal transporto rūšis (1.6 pav.).

Zhang *et al.* (2008) siūlo įvairiarūšio tinklo sluoksninį pjūvį, išskirstant jį tik pagal transporto rūšis. Tačiau įvairiarūšiam tinkle veikia daugiau nei viena transporto rūšis ir yra ne vienintelės šio tinklo sudėtinės dalys. Zhang *et al.* (2008) pateikė integruoto transporto mazgo informacijos valdymo sistemos architektūrą.

Remiantis Zhang *et al.* (2008) metodu, kiekvienas sluoksnis (1.6 pav.) atspindi tam tikros transporto rūšies topologinį tinklą ir terminalus, kuriuose susijungia du ar daugiau sluoksnių (transporto rūšių). Tačiau, norint sudaryti įvairiarūšių krovinių maršrutą, visi šie sluoksniai sujungiami į vieną topologinį žemėlapi su galimais perkrovimo terminalais ir maršrutais tarp jų.

Pagrindinės problemos, kylančios sudarant vežimo paslaugų tinklą, yra terminalo teikiamų operacijų pasirinkimo bei planavimo specifikacija, krovinių srautų valdymas. Paslaugų tinklo sudarymo modelius apžvelgia Crainic (2000), o aptarnavimo tinklo sudarymo aspektus aptaria Cordeau *et al.* (1998), Crainic, Kim

(2007), kurie tyrė jūrų, geležinkelių ir įvairiarūšio vežimo optimizavimo modelius.



1.6 pav. Įvairiarūšio tinklo paskirstymas pagal transporto rūšis (Zhang *et al.* 2008)

Fig. 1.6. Intermodal network breakdown by transport modes (Zhang *et al.* 2008)

Jakimavičius ir Mačerinskienė (2006) nagrinėja racionalaus kelio paieškos metodus, kai pagrindiniais maršruto optimalumo kriterijais pasirenkami: trumpiausias, greičiausias ir parinktas pagal alternatyvas, kai naudojamas optimalumo kriterijus maršrutas. Remiantis analizuojamais aspektais, parenkamos geografinės informacinės sistemos (GIS) priemonės, padedančios suprojektuoti maršruto paieškos algoritmą, kurio rezultatai, priklausomai nuo paros laiko, įvertina gatvių pralaidumą, pagrįstą natūriniais tyrimais. Renkantis transporto rūšį atliekamos operacijos, kurios suskaido paklausą į individualius transporto rūšių sluoksnius, grindžiamus aprėptimi (kelionės trukmė, išlaidos ir kt.) (PTV Groups 2012).

Gromicho *et al.* (2011) pasiūlė trumpiausio kelio algoritmą, kuris gali būti naudojamas praktikoje, skaičiuojant logistikos paslaugų teikėjams galimas maršrutų alternatyvas, vežant krovinius įvairiarūšių tinklu per trumpiausią trukmę.

Traukinių eismo optimizavimo algoritmai remiasi eismo modeliavimo metodais (Bartkevičius *et al.* 2005), nes traukinių eismas organizuojamas pagal eismo tvarkaraščius, kurie atitinka tam tikras sąlygas (išvykimo ir atvykimo datas, bendrą kelionės trukmę ir kt.), optimalius kriterijus (minimalus traukinio stotelių skaičius, minimalus laukimo laikas).

Norint tirti infrastruktūrą, kuria naudojamos įvairiarūšių kroviniams vežti, būtina nustatyti pagrindinius pajėgumo ir intensyvumo metodus. Vertinant Lietuvos transporto srautus, kaip svarbiausias išskiriamas kelių ir geležinkelių transportas. Kelių transportas sudaro daug ir įvairių galimų ITT maršrutų nuo išeitis iki paskirties taško, o jūrų transportas Lietuvoje apsiriboja daugiausia

Klaipėdos jūrų uosto įvairiarūšių terminalų pajėgumais (įvairiarūšių krovinių krovos procesai ir pajėgumai, laivybos pajėgumai ir kt.), nagrinėjama kaip mikromodeliavimas vienoje zonoje. Įvairiarūšiai terminalai šioje zonoje nustatomi kaip pradiniai arba galutiniai įvairiarūšio transporto srautų taškai (mazgai) žaliajame transporto koridoriuje.

Geležinkelių transportas plėtoja perspektyvią ir konkurencingą veiklą, kuri yra reikšminga sprendžiant transporto sistemos problemas, mažinant didėjančias automobilių eismo sukeltas apkrovas kelių dangos konstrukcijai ir eismo intensyvumą, aplinkos taršą, didinant eismo keliais saugumą (Maskeliūnaitė ir Sivilevičius 2009).

Įvairiarūšio transporto srautams modeliuoti naudojami geležinkelio stočių, terminalų pajėgumai, taip įvertinant technologinį pasiruošimą aptarnauti įvairiarūšius krovinius.

Petrenko (2012), Baublys, Vasilis Vasiliauskas (2005) ir Sakalauskas (2012) tyrė projektinį vienkelių ir dvikelių geležinkelio linijų laidumą. Didžiausias vienkelių geležinkelio linijos laidumas n_{\max} (traukinių porų per parą) apskaičiuojamas paros laiką minutėmis (1440 min) dalijant iš traukinio sugaišto laiko tarpstotyje ir stotyje t_p :

$$n_{\max} = \frac{1440}{t_p}, \quad (1.1)$$

čia t_p – traukinio važiavimo laiko tarpstotyje pirmyn ir atgal t' , t'' (min) suma ir traukinio sugaištas laikas stotyje, min., paprastai vadinamas stoties intervalu; jis gaunamas sudėjus atvykusio t_a ir išvykusio t_i traukinio laikų skirtumas stotyje t_a, t_i :

$$t_p = t' + t'' + t_a + t_i, \quad (1.2)$$

Bendras (skaičiuojamasis) stoties pralaidumas – tai atvykstančių traukinių n_{atv} ir išvykstančių traukinių $n_{išv.}$ suma:

$$n_b = n_{atv} + n_{išv.} \quad (1.3)$$

Eismo saugumui užtikrinti geležinkeliuose diegiamos kelio kontrolės, signalizacijos ir traukinių valdymo, komunikacijos sistemos (Hamilton *et al.* 2009). Palyginus su pusiau automatinėmis blokuočių sistemomis (PAB), automatinės tarpstočio blokuotės (AB) sistemos užtikrina didesnę traukinių eismo našumą ir saugumą. Didesnę efektyvumą užtikrina sumažėjęs trukmės intervalas tarp pravažiuojančių traukinių. Tokiu atveju visas kelias padalijamas į atskirus blokus arba ruožus, kurie izoliuojami leidžiamųjų signalų ir dirba automatiškai. Tad daugiau nei vienas traukinys gali važiuoti tarp gretimų stočių tuo pačiu metu.

Automatinės sistemos blokuotės:

- padidina kelio laidumą;

- palengvina traukinių eismo grafikų sudarymą;
- leidžia gauti tarpstotyje esančio traukinio koordinates.

Traukinių eismo saugumas, naudojant automatinę kelio blokuotės sistemą, padidėja, nes kiekvienas blokuojamasis ruožas turi elektrinę bėgių grandinę, kuri kontroliuoja ne tik blokuojamojo ruožo bloko užėmimą ir atlaisvinimą, bet ir bėgių, esančių šiame blokuojamajame ruože, vientisumą. Jei toks kelio ruožas yra užimtas arba jame įvykęs gedimas, automatiškai įsijungia draudžiamasis signalas įvažiuoti, saugantis šį blokuojamąjį ruožą. Norint užkirsti kelią traukinių važiavimui, degant draudžiamajam signalui, ir padidinti traukinių eismo saugumą, automatinėje tarpstočio blokuotės sistemoje yra papildomai įrengta lokomotyvo signalizacija, kuri perduoda blokuojamojo ruožo signalo rodinis į lokomotyvo kabiną.

Lietuvos keliuose įrengtų stacionarių nuolatinių postų duomenimis, vidutinis metinis paros eismo intensyvumas (*VMPEI*) kelio ruože – visų metų nepertraukiamo matavimo duomenų nustatymo tikslumas – 97 %.

$$VMPEI = \frac{1}{365} \sum_{d=1}^{365} PEI, \quad (1.4)$$

čia *VMPEI* – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas; *PEI* – paros eismo intensyvumas; 365 – dienų skaičius per metus.

Kiekvieno kelio *VMPEI* apskaičiuojamas pagal visų kelyje esančių eismo apskaitos postų (ir kuriuose buvo atlikta eismo apskaita, ir kuriuose eismo intensyvumas buvo apskaičiuotas) duomenis. Kelio *VMPEI* apskaičiuojamas taip:

$$I_K = \frac{1}{L_K} \cdot \sum_{k=1}^n (I_R \cdot L_R), \quad (1.5)$$

čia *I_K* – intensyvumas visame kelyje (aut./p.); *L_K* – kelio ruožo ilgis (km); *I_R* – *VMPEI* atskirame kelio ruože (aut./p.); *L_R* – atskiros kelio ruožo ilgį (km); *n* – kelio ruožų skaičius.

Krovinių srautų susidarymas ir transporto tinklų sąveika sukuria transporto koridorius, kuriuose organizuojami vežimai, nustatant optimalų kelionės maršrutą. Maršrutų optimizavimo sistema – tik viena iš ITS sudedamųjų dalių, todėl dažniausiai siūlomas kompleksas paslaugų.

Požangios kontrolės metodika iš esmės yra optimalios kontrolės metodai, kuriais siekiama objektyvios funkcijos, kuri apibūdina sistemos darbą. Dinaminis programavimas ir Hamilton – Jacobi – Bellman lygtys skirtos optimalaus valdymo teorijos uždaviniams spręsti (Sarimveisa *et al.* 2008). Dar vienas svarbus pažangaus valdymo teorijos klausimas, į kurį dažnai reikia atsižvelgti, yra neapibrėžtumo sąlyga, o tai apsunkina atlikti veiksmingus sprendimus, susijusius

su produktų gamybos, sandėliavimo ir paskirstymo procesais. Neapibrėžtumas veikia būsimo vežimo paklausos prognozavimą, gaištis trukmės (angl. *lead-time*) skaičiavimą, gedimo įvertinimo tikimybę ir kt. Daugelis tiekimo grandinės teorijos problemų gali būti priskiriamos prie atsitiktinių optimalaus valdymo problemų. Todėl mokslinėje literatūroje teorinės sistemos požiūriu nagrinėjami tiekimo grandinės tinklai grindžiami optimalaus valdymo ir dinaminio programavimo metodais.

Sprendžiant optimalaus maršruto uždavinį, taikant svertinius apribojimus (kainą, trukmę, atstumą), naudojamas dinaminis programavimas (Androusoopoulos, Zografos 2009). Naudojant dinaminio programavimo formulotę, galima rasti optimalų kelią įvairiarūšiame transporto tinkle, kurį aptaria Ziliaskopoulou ir Wardell (2000), taikydami maršruto optimalių kelių priklausomybės nuo trukmės koncepcijos modelį.

Optimalaus valdymo kiekviename žingsnyje parinkimą, atsižvelgiant į jo įtaką tolesnei proceso eigai, yra išskėlęs R. Belmanas. Dinaminio programavimo metodą tyrė Bertsekas (2012), moksliniuose darbuose taip pat naudojo Banks (1998, 2003), Ertl (1998), Beuthe *et al.* (2001), Fowler (2001).

Trumpiausio maršruto sprendimas gali būti išreikštas naudojant dinaminį programavimą. Galima sudaryti konteinerinių krovinių išeities ir paskirties (OD) porų (Luo 2002) taškus, pagal kuriuos skaičiuojamos vežimo išlaidos.

Dinaminio programavimo Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) lygtys naudojamos optimalaus valdymo teorijoje (Bertsekas 2012; Bellman 2003). Chang, Ziliaskopoulou (2007) tyrimuose taikė Belmano optimalumo metodą.

Maršruto pasirinkimo modeliavimą nagrinėjantis Prato (2009), rėmėsi mokslininkų Bellman (1958) ir Dijkstra (1959) atliktu trumpiausio maršruto programavimu. Optimalius kelius tinkle, kai visos jungtys maršrute priklauso nuo laiko bei koreliuoja per laiką ir erdvę, remiantis Bellman principu, nagrinėjo Huang ir Gao (2012). Jau nuo 1958 m. Bellman, Dijkstra (1959) ir Dantzig (1960) sprendė uždavinius, pasitelkdami optimalaus maršruto modelį.

Belmano optimalumo principu rėmėsi ir Maa, Lebacque (2013), pasirinkdami optimalų maršrutą kiekviename sprendimų priėmimo etape.

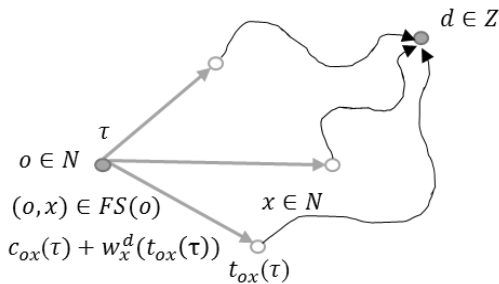
Dinaminio programavimo metodas mokslinėje literatūroje taikomas maršrutui su mažiausiomis išlaidomis apskaičiuoti.

Taikant Belmano metodą optimaliam maršrutui nustatyti (1.7 pav.), galima pasirinkti norimus optimalumo kriterijus, pavyzdžiui, optimalaus maršruto trukmę, atstumą ir kt. Čia minimalus skaičiuojamasis rodiklis $w_o^d(\tau)$ tarp pradžios taško $o \in N$ ir pabaigos taško $d \in Z$ kiekvienam naudotojui yra nustatytas atitinkamu laiku t (PTV Group 2012):

$$w_o^d(\tau) = \min \{C_k(\tau) : k \in K_{od}\}. \quad (1.6)$$

Belmano dinaminio programavimo metodas tarp kiekvieno mazgo $o \in N$:

$$w_o^d(\tau) = \min \{C_k(\tau) + w_x^d(t_{ox}(\tau)) : x \in FS(o)\} \quad (1.7)$$



1.7 pav. Belmano dinaminio programavimo modelis (PTV Group 2012)

Fig. 1.7. Bellman's dynamic programming model (PTV Group 2012)

Taikant Belmano sprendimo metodą, kiekviename žingsnyje sprendimas priimamas, atsižvelgiant į ateityje galimus padarinius. Išimtį sudaro paskutinis žingsnis, kuriuo procesas baigiamas. Čia valdymą galima planuoti atsižvelgiant tik į tai, kad šiame etape jis būtų optimalus. Suplanavus paskutinį žingsnį, planuojamas antras nuo galo žingsnis taip, kad tų abiejų žingsnių rezultatas būtų optimalus. Čia ir pasireiškia viena iš dinaminio metodo ypatybių – sprendžiant uždavinį, einama nuo galo į pradžią.

Belmano metodu sprendžiant įvairiarūšių srautų žaliuosiuose transporto koridoriuose optimizavimo uždutis, supaprastinamas optimalaus maršruto nustatymas. Susiejus dinaminio programavimo užduočiai spręsti naudojamą informaciją apie maršruto charakteristiką iš ITS įrenginių, suteikiama galimybė greitai gauti atnaujintą informaciją apie optimalų maršrutą.

1.3. Intelektinių transporto sistemų taikymo įvairiarūšiams kroviniams vežti apžvalga

Informacijos amžiuje pasaulinėje prekyboje yra didelis fizinių daiktų judėjimas (srautas), kurie yra sekami visame pasaulyje, o informacija apie jų buvimo vietą gali būti perduodama internetu. Kiekvieną dieną vežama daugiau nei 6 mlrd. tonų krovinių, daugiau kaip 12 mln. konteinerių visame pasaulyje (Vasseur, Dunkels 2010).

IRT taikymas įvairiarūšiams kroviniams vežti suteikia galimybę veiksmingiau naudoti transporto priemones ir supaprastina transporto valdymą tiekimo grandinėse (Clausen *et al.* 2012). Įvairiarūšių krovinių sekimas apibūdinamas kaip informacijos pateikimas, kuri yra susijusi su esamos krovinio

vietos nustatymu, valdymu ir apima nuolatinį ar kartotinį vežimo proceso vertinimą ir perskaičiavimą.

IRT taikomos vairuotojų kontrolei ir pagalbai vairuotojams, taip pat automatinėms buvimo vietos nustatymo technologijoms ir GPS (globaliajai pozicionavimo sistemai) arba skaitmeniniam ryšiui tarp išsiuntimo centrų ir vairuotojų, išmaniųjų kortelių naudojimui mokant už paslaugas, kai jos veikia kaip atpažinimo sistema, automatiškai rezervuojant reisą.

IRT yra laikomos priemonės, leidžiančios saugiai ir efektyviai atlikti krovinių vežimo operacijas (Giannopoulos 2004). Siekiant pagerinti transporto tinklų našumą, naudojamos įvairios informacinės ir ryšių technologijos. IRT yra naudojamos ir bus naudojamos ateityje logistikos, transporto ir medžiagų tvarkymo operacijoms valdyti (Marsan *et al.* 1996; Armingol *et al.* 2007; Manzie *et al.* 2007; Lumsden ir Stefansson 2007). IRT laikoma viena iš svarbiausių priemonių, norint užtikrinti saugias ir efektyvias krovinių vežimo operacijas (Giannopoulos 2004).

Įvairios IRT programos, taikomos krovinių vežimo srityje, daugiausia dėmesio skiria programoms ir paslaugoms, skirtoms vežimų integracijai ir įvairiarūšiam vežimui transporto tinkle remti. ITS yra IRT prietaika, remianti vežimo funkciją ir skatinanti veiklos efektyvumą kelių transporto operatoriams.

Bet kokia sistemai yra susijusių dalių, siekiančių bendro tikslo (Longman žodynas 2013), grupė. Crainic *et al.* (2009) apibrėžia, kad ITS sąvoka vartojama naujausioms technologijoms, infrastruktūrai ir paslaugoms nurodyti, taip pat operacijų, planavimo ir kontrolės metodams, naudojamiems keleiviams ir kroviniams vežti kelių transportu, nusakyti. ITS naudojama esamų transportų sistemų apribojimams ir pajėgumams nustatyti. Vienas iš sprendimų – nustatyti efektyvesnį dabartinių pajėgumų naudojimą.

IRT turi poveikį transporto paslaugų kokybei, energijos vartojimui, kelių transporto efektyvumui, saugumui, išlaidų mažinimui ir aplinkosaugai.

ITS yra suprantamas kaip bet kokia kelių transporto informacijos saugojimo, apdorojimo ir perdavimo techninė įranga (Klaus *et al.* 2012). Informacinės technologijos ir eismo valdymo priemonės skirtos sudėtingoms transporto sistemoms valdyti ir sujungti.

Šiuo metu kelių eismo valdymo ir krovinių srautų valdymo sistemos yra atskirtos. Pagrindinis eismo valdymo tikslas – užtikrinti visų eismo dalyvių saugumą ir išnaudoti šį pajėgumą, kartu mažinant aplinkos taršą. Krovinių tiekimo valdymas apima krovinių pristatymą optimaliomis išlaidomis, užtikrinant vartotojo reikalavimus (kai įvertinamas aplinkosaugos aspektas).

Terminas ITS mokslinėje literatūroje vartojamas kaip sinonimas, apibūdinantis IRT elementą, naudojamą transporto operacijoms valdyti ir kontroliuoti (Wootton *et al.*, 1995; Crainic *et al.* 2009; Stefansson ir Lumsden 2009; El-Faouzi *et al.* 2010).

Šiuo metu ITS pasaulyje surenka ir perduoda didelį kiekį duomenų apie vežimo sistemų operacijas. Duomenys perduodami skirtingais žinučių formatais, kurias naudoja vežimo tinkle skirtingos institucijos, vežėjai ir kiti dalyviai. Dalis surinktų ir perduotų duomenų nėra naudingi ir dažnai gauti išsamūs duomenys vėl apdorojami ir peržiūrimi veiklos vykdytojų, jei nepakanka priemonių priimti sprendimą (Crainic *et al.* 2009).

Funkcijos, kurias turi apimti IRT ir ITS ŽTK, kad užtikrintų saugų ir tvarų vežimą, pagerintų transporto sistemos efektyvumą ir sumažintų neigiamą vežimo poveikį aplinkai:

- realiojo laiko (angl. *up-to-data*) eismo informacija tiekimo grandinėje prireikus leidžia vairuotojams pasirinkti alternatyvų maršrutą;
- automatinė atpažinimo sistema teikia duomenis apie krovinių ir TP buvimo vietas, numatomas atvykimo laikas leidžia geriau valdyti išteklius;
- prieiga prie realiojo laiko kelių orų duomenų leidžia vežėjams pakeisti maršrutą ar perskaičiuoti vežimo grafiką;
- pažangios išankstinio registravimo sistemos įvažiuoti į uosto, terminalo ar kitos šalies teritoriją mažina tarptautinio vežimo gaisrą;
- krovinių sekimas palengvinta siuntėjų, gavėjų ir transporto operatorių išteklių planavimą.

Skaitmeninis keitimasis informacija palengvina vežimą, gerina transporto sistemos efektyvumą ir sumažina neigiamą poveikį aplinkai, nes leidžia koridoriaus naudotojams tinkamai planuoti procesus ir greičiau reaguoti į pasikeitusią situaciją.

Žaliajame transporto koridoriuje, taikant IRT ir ITS, palengvinama maršrutų planavimo funkcija, egzistuoja atvira architektūra (t. y. duomenys teikiami visiems vartotojams nemokamai internete), vyksta elektroniniai duomenų mainai (EDI), transporto procesų optimizavimas, veikia realiojo laiko duomenų informacinės sistemos, įvairiarūšio vežimo maršrutų planavimo sistemos, pagrindiniuose mazguose telkiami kroviniai, apskaičiuojamos kiekvieno maršruto išlaidos ir CO₂ kiekis, suteikiamos transporto paslaugos ir stebimi transporto procesai ir kroviniai.

Įvairiarūšis vežimas apima logistikos grandinę, todėl būtina ją valdyti (Bontekoninget *et al.* 2004), nes tiekimo grandinėje dalyvauja trys ar daugiau subjektų (organizacijų ar asmenų), dalyvaujančių tiekėjų ir vartotojų (klientų) produktų, paslaugų ir (arba) informacija (Mentzer *et al.* 2001). Įvairiarūšio transporto sprendimai lengvai įgyvendinami, yra lankstūs, patikimi, skaidrūs ir veiksmingi (Caramia; Guerriero 2009).

1.3.1. Intelektinių transporto sistemų taikymo technologijų įvairiarūšių krovinių vežime apžvalga

Įvairios sistemos ir paslaugos, taikančios pažangias technologijas, kuriamos siekiant padidinti tokios informacijos matomumą ar savalaikiškumą vežimo subjektams. TP atpažinimo informacija, TP ir krovinių buvimo vietos informacija, informacija apie krovinius naudojama ar palaikoma esant dideliui skaičiui krovinių ITS.

Todėl įvairių sričių technologijos, pavyzdžiui, komunikacijos, kompiuterinė įranga, pozicionavimo sistemos, telekomunikacijos, transporto priemonių technologijos, sensoriai, jutikliai ir skaitikliai integruoti į vieną sistemą ir sudaro ITS koncepciją. ITS naudojama įvairiose srityse, susijusiose su krovinių vežimu, įskaitant transporto priemonių valdymą ir kontrolę, buvimo vietos kontrolę, krovinių ir transporto vietos nustatymą. Tokios sistemos gali padidinti krovinių transporto eismo sklandumą, pasiūlyti sklandų pasienio punktų kirtimą ir užtikrinti reikiamą kontrolės ir ataskaitų, užtikrinančių aukštesnį saugumo lygį, teikimą. Informacijos ir duomenų mainai apie krovinių vežimą tarp transporto tinklo dalyvių didina logistikos paslaugų ŽTK kokybę.

Eismo kontrolės ir stebėjimo sistemos yra ITS, taikomos krovinių vežimo operacijose. Šios sistemos naudojamos eismo srautams kontroliuoti ir valdyti, teikiant informaciją apie eismo situaciją, pavyzdžiui, susidūrimus, spūstis, eismo srautų greitį ir transporto priemonių intensyvumą keliuose. Taikomos tokios technologijos, kaip išmanieji šviesoforai, numerių atpažinimo kameros ir greičio matavimo kameros su jutikliais ir kintamieji eismo ženklai. Naudojant šias technologijas, transporto sektoriaus dalyviai gali siųsti atnaujintą informaciją apie krovinių atvykimo laiką arba gaisrą, kurie veiksmingiau palaiko krovinių transporto priemonės, uosto, terminalų operacijas. Vežimo operacijų aplinkosauginis veiksmingumas padidėja sumažinus vežimo trukmę ir sudėrinus eismo srautą (Li *et al.* 2007).

Judančių transporto priemonių svėrimo sistemos (angl. *Weigh-in-motion* – WIM) sukurtos transporto priemonių svoriui kontroliuoti ir matuoti. Taip didinamas vežimų saugumas ir sumažinama eismo įvykių tikimybė dėl per didelio svorio (Jacob, Feypell 2010). WIM plėtoja kontrolės veiklą, panaikinant sustojimo trukmę dėl statinės svorio kontrolės sistemos, sumažina nelaimingų atsitikimų dėl perkrautų transporto priemonių, sumažina žalą infrastruktūrai ir mažina laiko išlaidas tiek vežėjui, tiek patikros institucijoms.

Naudojant pristatymo vietos rezervavimo sistemas galima rezervuoti transporto vietą, atsižvelgiant į transporto priemonės tipą, pasirinktu laiku pakrauti ar iškrauti krovinius. Šios sistemos prisideda prie vežimo operacijų poveikio aplinkai ir veiklos rodiklių našumui, panaikinant laiko sąnaudas, ieškant stovėjimo vietos. Teodorovic ir Lucic (2006) aptarė intelektinių vietos

rezervavimo sistemų poreikį ir pasiūlė strategijas, projektuojant tokias sistemas. Pasak jų, tiriant tokių sistemų taikymą, sumažėja bendras transporto priemonių maršrutų skaičius per tam tikrą laikotarpį (mažinant neigiamą poveikį aplinkai) ir geriau išnaudojamos automobilių statymo vietos (prisidedant prie transporto infrastruktūros efektyvumo).

Transporto priemonės buvimo vietos ir būklės stebėjimo sistema teikia informaciją realiuoju laiku apie transporto priemonės buvimo vietą internetu. Įrengiant jutiklius transporto priemonėje, pavyzdžiui, konteineriuose, sistema gali teikti informaciją realiuoju laiku apie krovinio būklę vežimo metu. Ši įranga padeda realiuoju laiku kontroliuoti konteinerio durų padėtį. Tai leidžia geriau valdyti transporto priemonę ir krovinius, juos sekant ir stebint. Gavę informaciją realiuoju laiku, susijusią su krovininės transporto priemonės buvimo vieta transporto tinkle, muitinės paslaugų teikėjai gali nurodyti atvykimo laiką ir parengti visus reikiamus dokumentus sienos kirtimo punkte, taip sumažinant krovininės transporto priemonės laukimo laiką prie sienos kirtimo punkto. Naudojant tokio tipo informaciją, terminalo ar uosto operatoriai gali nuolatos atnaujinti informaciją krovininio transporto operatoriams apie galimą laivo gaištį. Be to, naudodamas tokią sistemą, vairuotojas gali rasti saugias automobilių aikštes, taip užtikrinant ir padidinant vežimo saugumą ir apsaugą.

Maršrutų planavimo sistemos planuoja vežimo maršrutus pagal eismo sąlygas keliuose, o rezultatas – didėjantis vežimo operacijos efektyvumas – pasireiškia aukštesniu paslaugų tiekimo lygiu klientams, mažinant gaišties potencialą. Mažinant trukmę keliuose, operacijos tampa vis ekologiškesnės.

Vairavimo elgesio stebėjimo ir kontrolės sistemos padeda analizuoti vairuotojo vežimo operacijų greitį bei greitėjimą, perduoti grįžtamąjį ryšį apie galimybę pagerinti vairavimo kokybę. Toks grįžtamasis ryšys leidžia sumažinti transporto priemonių degalų sąnaudas, taip sukuriamas ekologiškas vežimas (Marell, Westin 1999).

Avarijų prevencijos sistemos – tai jutikliai, įrengti transporto priemonėse, gali siųsti signalus vairuotojams apie artėjančią objektą. Tokio tipo sistema gali aptikti objektus ir pateikti informaciją apie nelaimingų atsitikimų tikimybę, matuojant atstumą nuo vienos transporto priemonės iki kitos. Tsugawa *et al.* (1997) nagrinėjo ITS magistralių sistemas, kurios pagal struktūrą siekia padidinti transporto saugumą. Be to, Chira-Chavala ir Yoo (1994) teigia, kad, taikant autopiloto kontrolės sistemas, mažėja eismo įvykių.

Tokių krovininių vietos stebėjimo sistemų, kaip RFID skaitytuvai, diegimas transporto priemonėse ar ant sandėlio durų leidžia valdyti krovinį judėjimą automatiškai, kuris užrašomas į informacinės sistemos duomenų bazę. Naudojant automatinio atpažinimo sistemas, atsirado naujų galimybių, pavyzdžiui, nuskaityti daugelį žymų tuo pačiu metu. Sumažėja klaidų, kurios atsiranda įvedant duomenis rankomis. Be to, jos sumažina netikslumus apie inventorines atsargas, kai

sandėliuojama arba vežama transporto priemonėmis (Hardgrave *et al.* 2009). Automatinio atpažinimo sistemos remiasi stebėjimu ir sekimu, kuris palengvina krovinį ieškojimą dideliuose sandėliuose, uostuose ir terminaluose. Šios sistemos padeda geriau valdyti išteklius, trumpinant krovos darbų trukmę, bei pateikiant tikslesnę informaciją apie krovinį. Tokios sistemos gerina transportuojamų krovinių saugą ir saugumą, didindamos krovinių buvimo vietos matomumą.

Lietuvoje IRT taikomos geležinkelių transporto veiklos efektyvumui, kurios daugiausia priklauso nuo informacinių technologijų ir sistemų visuose valdymo, apskaitos ir transporto paslaugų technologiniuose procesuose. Svarbiausios iš šių sistemų – operatyvi vežimo kompiuterinė informacinė sistema (IS) OPKIS, VPS KIS ir KROVINYS, informacinė sistema RIEDMENYS, geografinė sistema GIS ir kt. Jos užtikrina visų prie krovinių vežimo prisidedančių subjektų sąveiką ne tik Lietuvoje, bet ir kitose Baltijos bei NVS šalyse, paspartina muitinės ir valstybinių sienų kirtimo procedūras.

Nuo 2013 m. Lietuvoje pradėjo veikti Lietuvos Respublikos valstybės sienos kirtimo rezervacijos sistema EVIS, kuri šiuo metu veikia kelių transportui Lietuvos pasienio kontrolės punktuose.

Įvairiarūšio transporto elektroninis vietos nustatymas vežimo metu gali būti pasiektas naudojant GPS, kuri aptinka tarpinius taškus išilgai įprasto maršruto. Laiko tarpai tarp tarpinių taškų nustatymo gali būti nustatomi prireikus iš anksto numatyti kelionės trukmę, atsižvelgiant į neplanuotus kelionės maršruto pakeitimus dėl kylančių problemų.

Sumanaus objekto (angl. *smart object*) technologija vis dažniau naudojama konteinerių judėjimui stebėti visame pasaulyje, kai jie vežami uostuose, terminaluose ir perkrovimo vietose. Galimybė sekti krovinius, kai jie vežami visame pasaulyje, yra nepaprastai naudinga vežimo įmonėms ir jų klientams. Vežimo įmonės gali nustatyti krovinių vietą, planuojamą atvykimo laiką, įvertinti gaisrų ar kitas kylančias problemas, kurios daro įtaką krovinių pristatymo laikui. Klientai taip pat gali stebėti savo krovinius, kuriuos veža pervežimo įmonė, taip įmonei sukuriant pridėtinę vertę. Konteinerių sekimas užtikrina saugų jo pristatymą. Nuolat stebimas transporto eismo dėsningumas, nuolatos ar kartotinais atliekami matavimai ir vertinimai (van Hoek 2002).

Krovinių būklės stebėjimo sistemos yra įvairių prietaikų taikymas fiziniams krovinių savybėms matuoti, pavyzdžiui, temperatūrai, drėgmės ir apšvietimo lygiui, vibracijos lygiui, gerinant vežimo operacijas. Šių prietaikų taikymas didina pavojingųjų krovinių, vaistų ir šviežių produktų kontrolę. Tokių jutiklių ir RFID technologijų derinys leidžia geriau kontroliuoti ir stebėti krovinių srautą skirtingose tiekimo grandinės vietose. Jedermann *et al.* (2006) tyrimais nustatė, kad RFID technologijų kartu su jutikliais taikymas tobulina krovinių vežimą. Jų naudojimas, kontroliuojant cheminių medžiagų, sprogmenų ir kitų pavojingųjų

prekių siuntas, gali tapti saugaus ir ekologiško vežimo pagrindu. Andziulis *et al.* (2012) išsamiai tyrė RFID technologijų taikymą standartiniuose konteineriuose, nes, jų nuomone, mokslinėje literatūroje menkai analizuojamos krovinių vežimo stebėsenos sąlygos, krovinių informacijos saugumo ir kitų svarbių procesų klausimai. Mokslininkas pateikė praktinį pagrindinių rizikos veiksnių vežimo metu vertinimo pavyzdį, naudodamas RFID jutiklių, kurie montuojami TEU viduje, informaciją apie konteinerio vidaus temperatūrą, drėgmę ir vibraciją. Apžvelgiamos mobiliųjų įrenginių valdymo sistemos ir analizuojami pagrindiniai informacijos saugos klausimai.

RFID sistema sudaryta iš žymės, skaitytuvo ir valdymo sistemos. Valdymo sistema valdo duomenų perdavimą, žymės nuskaitymą ir įrašymą į ją. Duomenų srautas tarp žymės ir skaitytuvo vyksta bekontakčiu būdu.

Šiuo metu naudojamos RFID ir GPS integruotos sistemos, kad būtų galima nustatyti konteinerių buvimo vietą. Tačiau ši sistema turi trūkumų: ji apima ribotą signalų skaičių atokiose pasaulio vietose, signalai gali būti užblokuoti, kai konteineriai yra sudėti keliais lygiais, yra priklauso nuo maitinimo elemento, taip pat įvertintas ir žmogiškasis faktorius. GPS signalų ribojimas atokiose vietose – pagrindinė ir svarbiausia problema, norint stebėti atskirus konteinerius.

Taikoma ITS krovinių transporte naudoja skirtingų rūšių informaciją apie transporto infrastruktūrą, transporto priemones ir gabenamus krovinius. Be to, šios ITS palaiko įvairių rūšių informaciją, susijusią su vežimo operacijomis. Šis palaikymas galėtų būti pateiktas informacijos apie krovinių vežimą didėjančio prieinamumo, matomumo, savalaikiškumo, greičio ir tikslumo pavidalu. Tai pagerintų vežimo operacijas, palaikant įvairias vežimo funkcijas, ir pagerintų įvairius vežimų veiklos rodiklius.

Konteinerių sekimas yra ne tik informacija apie stebimų konteinerių buvimo vietą, tačiau, esant galimybei, stebint konteinerius, yra sukuriamą pridėtinė paslaugos vertė. Konteinerių saugumo stebėjimas – kai vežimo įmonė informuojama iš karto, kai jos konteinerio pakuotės vientisumas pažeistas, galima greitai reaguojant sustabdyti vežimą ir nedelsiant patikrinti konteinerį kitame terminale ar keitimo punkte. Konteinerių viduje esančios prekės gali būti nuolatos stebimos naudojant išmaniuosius objektus, kuriuose įrengti sensoriniai jutikliai. Šie jutikliai gali stebėti temperatūrą, drėgmę ir vibracijos sąlygas konteineriuose. Ši informacija padeda klientams įvertinti savo krovinių būklę. Jutiklio informacija gali būti saugoma išmaniuosiuose objektuose ir perduodama realiuoju laiku, kai krovinyš iškraunamas arba perduodamas vežimo įmonėms.

ITS naujoves įvairiarūšiam transporte aptaria Dullaert *et al.* (2009), Dotoli *et al.* (2010). Praktinis įvairiarūšio transporto maršrutų parinkimo algoritmų naudojimas vis dar kelia daug iššūkių moksliniams tyrimams, nes skaičiavimų trukmė ilgėja dėl tinklo dydžio ir įvykių dinamiškumo, kurie gali vykti realiuoju laiku. Ypač svarbų ITS vaidmenį gali turėti planuojant įvairiarūšio krovinių

vežimo veiklą. Dullaert *et al.* (2009), Dotoli *et al.* (2010) tyrė naujų ITS valdymo ir kontrolės poveikį įvairiarūšio transporto grandinės veiklai, nes duomenų mainai yra kur kas sudėtingesni įvairiarūšiam transporte nei vienos rūšies transporte. ITS naujovės padidina duomenų srautus, pagerina punktualumą ir informacijos kokybę, suteikia galimybę kontroliuoti ir koordinuoti operacijas realiuoju laiku (Crainic ir Kim 2007).

Išskiriami trys požūriai pagrindinių geografinės sąsajų su krovinių vežimo modeliavimu klausimu (D'Este 2001): modeliavimo, optimizavimo ir tinklo modelius. Nors jų deriniai egzistuoja, tačiau jų ribos nėra aiškiai apibrėžtos. Hancock, Xu (2005) sukurtas analitinis modelis tarp kelių ir jūrų transporto naudojant GIS. Šis modelis priskiria krovinio transporto srautus prie tinklo taip, kad tinkle būtų pasiektas optimalus rezultatas.

GIS grindžiamas ir tinklo srauto bei prieinamumo modelis (Guo *et al.* 2005), kai pagrindinis optinio tinklo projektavimo procesas gali būti apibūdinama kaip:

- 1) įvesties informacija – renkami mažiausiai trijų rūšių įvesties informacijos duomenys: mazgai, eismo intensyvumas ir tinklo topologija su dabartiniais ir būsimais maršrutų tipais;
- 2) projektavimo iteracijos – remdamasis pateikta informacija, tinklo planuotojas taiko įvairius tinklo projektavimo metodus ir priemones sukurti tinklo sprendimams keliamus reikalavimus;
- 3) išeities duomenys – tinklo sprendimo išeities duomenys, reikalingi tinklui diegti, įskaitant nukreipiamąsias (angl. *origin and destination*, OD) poras, jungties ir mazgo krovinių srautus bei visą reikalingą įrangą šiems srautams palaikyti.

Daugelyje transporto modelių naudojami ir GIS žemėlapių su jungčių įvesties ir išvesties duomenų bazėmis (Flodén 2007), kurie remiasi gamybos ir įvairiarūšio transporto maršruto pateikimo tinklais (kelių, geležinkelių, vidaus vandenų kelių, perkrovimo terminalų), atsižvelgiant į apibrėžtus kriterijus ir vežimo reikalavimus.

1.3.2. Kelių oro sąlygų įtakos vidutiniam maršruto greičiui nustatymas

Vienas pagrindinių ITS srities poreikių – transporto tinklo eismo srautų tyrimas (Kotsialos *et al.* 2002). Tai Lietuvos atveju atliekant ITT kelių transporto eismo srautų tyrimus taikomi duomenys iš eismo intensyvumo skaitiklių (EII).

Eismo intensyvumo skaitiklis atlieka šias funkcijas (Sivilevičius 2012):

- skaičiuoja pravažiuojančius automobilius per numatytus laiko intervalus arba nepertraukiamai;

- klasifikuoja transporto priemones į klases. Skaitiklis suskaičiuoja transporto priemonių ašių skaičių bei atstumą tarp jų ir pagal tai vykdomas klasifikavimas;
- išmatuoja transporto priemonių važiavimo greitį.

Lietuvos keliuose naudojami automatiniai skaitikliai – klasifikatoriai MARKSMAN 400 ir MARKSMAN 660.

MARKSMAN 660 veikia prijungti prie induktyvių kontūrų (kilpų), įmontuotų į kelio dangą.

Klasifikatorius MARKSMAN 400 – mobilusis autonominis prietaisas su keičiamais darbo režimais. Prie šio skaitiklio prijungiami du minkštos gumos vamzdeliai, kurie darbo vietoje paklojami skersai kelio 1 m atstumu vienas nuo kito. Galimi ir kiti gumos vamzdelių įrengimo būdai. Užvažiavus automobilių ratams, vamzdeliuose padidėja oro slėgis, kuris užfiksuojamas pneumatiniiais skaitiklio jutikliais. Jų signalus skaitiklio schemos išanalizuoja ir įrašo informaciją apie pravažiavusią transporto priemonę į savo atmintį. Prijungus prie skaitiklio asmeninį kompiuterį galima keisti jo darbo režimus ir nuskaityti sukaupią informaciją.

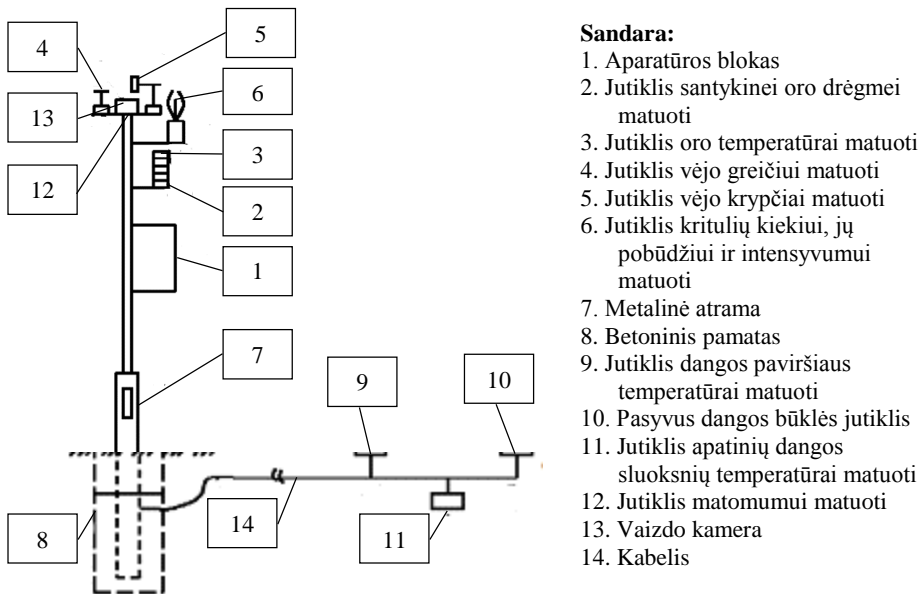
Išeities ir paskirties (OD) poros kelių tinkle, naudojanti dalinę srautų informaciją, yra svarbios sprendžiant transporto planavimo ir eismo valdymo problemas. OD poros vežimo ir greitkelių tinkluose nurodo kelionių modelius zonų tinklui per tam tikrą laiko tarpą. Sparti ITS ir eismo aptikimo technologijų pažanga, nurodanti tinklo kelionės OD eismo srauto informaciją stebimoje jungtyje ir yra ekonomiškai įgyvendinama (Liou, Hu 2009). Projektuojant vežimo paslaugų tinklo sistemą pagal tvarkaraščius, kurioje suteikiamos vežimo paslaugos ir atliekami informacijos mainai, turi būti suderinta su panašiomis sistemomis (Andersen *et al.* 2009).

Plačiai naudojama įvairiarūšio maršruto skaičiavimo programinė sistema pagal emisijos kiekį – EcoTransIT, kuri nurodo poveikį aplinkai pagal pasirinktą transporto rūšį, suvartojamos energijos kiekį ir transporto priemonių emisiją vykstant nustatytu maršrutu. Įvairiarūšio maršruto sudarymo programa (angl. *Intermodal Route Planner*) maršrutą apskaičiuoja pagal atstumą, kuris yra pateikiamas tiese, t. y. neatsižvelgiant į geografinį esamo ITT išdėstymą, o tai iškraipo informaciją apie maršruto atstumą, važiavimo trukmę.

Geriausias įvairiarūšių maršrutų planavimo pavyzdys – Šveicarijos vieša informacinė platforma *truckinfo.ch*. Tai tarptautinė platforma, apimanti Austriją, Prancūziją, Italiją, Vokietiją ir Šveicariją. Ji teikia duomenis realiuoju laiku jos naudotojams. Informacija teikiama transporto sektoriaus dalyviams, taip sukuriant dinaminių maršrutų pasirinkimo paslaugą: pateikiami traukinių tvarkaraščiai, jų užimtumas ir kainos, kelių oro sąlygų duomenys ir prognozės, avarijų ar apribojimų vietos. Ši sistema – viena iš pavyzdinių ITS realiojo laiko platformų įvairiarūšiams maršrutams nustatyti. Sudarius įvairiarūšį maršrutą,

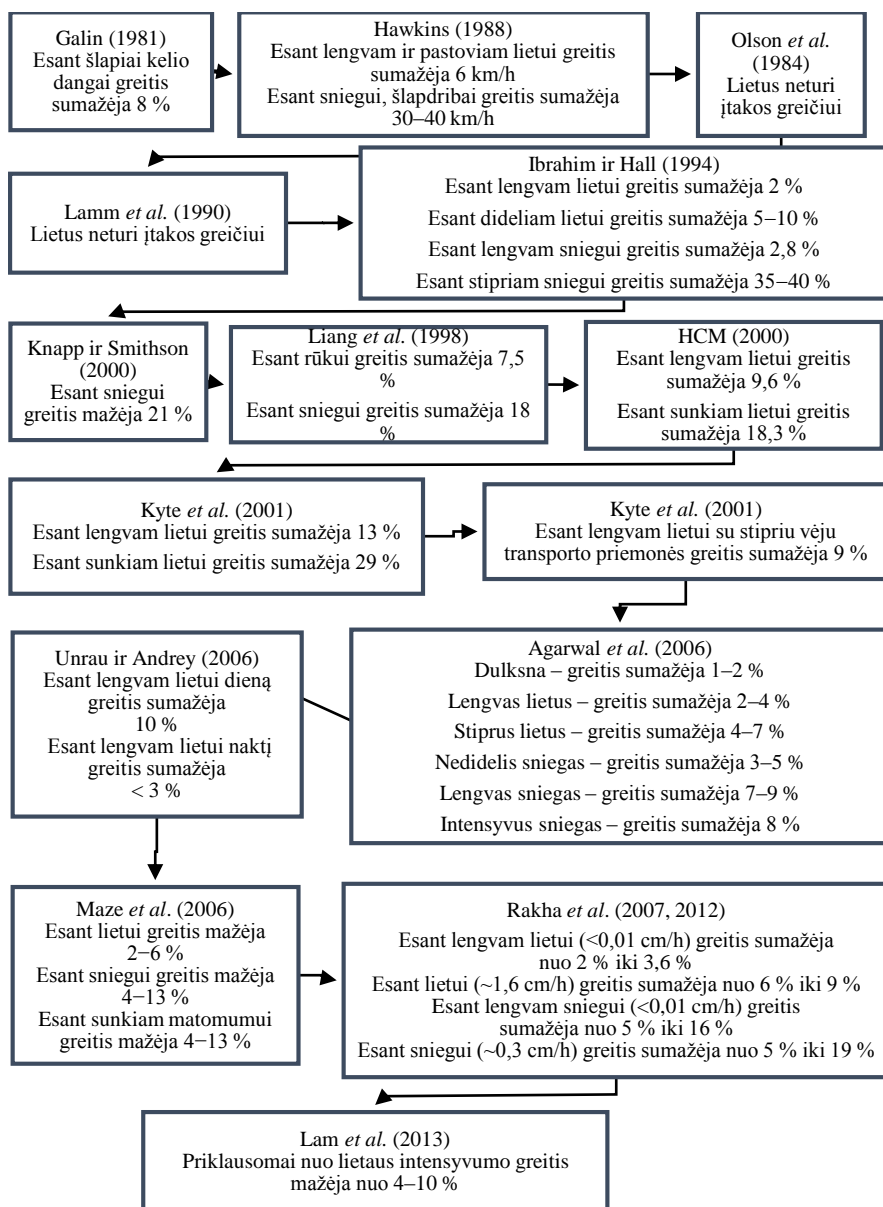
nurodomos transporto priemonių keitimo vietos, taip skatinama naudoti skirtingas transporto rūšis. Naudojami šaudyklinių traukinių tvarkaraščiai ir maršrutai.

Lietuvoje ITS kelių oro sąlygų informacinė sistema (KOSIS) ir eismo intensyvumo skaitikliai (EII) pateikia realiojo laiko informaciją, kurios iteracija yra 15 min., apie kelių oro sąlygas, eismo intensyvumą, eismo apribojimus, vaizdo kamerų informaciją, kintamos informacijos ženklus. KOSIS stotelių (1.8 pav.) tinklas padeda vairuotojams tiksliau įvertinti esamas eismo sąlygas keliuose, Lietuvos teritorijoje.



1.8 pav. Kelių oro sąlygų matavimo stoties sudedamosios dalys (sudaryta autorės)
Fig. 1.8. Component parts of road weather measuring stations (prepared by the author)

KOSIS – kompiuterizuota sistema, kuri automatiškai registruoja automobilių kelių dangos fizinius parametrus, meteorologines sąlygas keliuose ir atitinkamai informuoja apie važiavimo sąlygas. Greta meteorologinių parametrų KOSIS sistemose registruojamas matomumas, eismo intensyvumo parametrai, kelių naudotojams pateikiama informacija apie meteorologines sąlygas. Informacijos vartotojai suskirstyti į dvi grupes: visi kelių naudotojai, kelių priežiūros darbuotojai. KOSIS stotelėse sumontuotos technologijos leidžia tiksliai pamatuoti ant kelio dangos susikaupusio vandens, ledo ir sniego storį. Jos taip pat tiksliai fiksuoja oro temperatūrą, matomumą, vėjo greitį ir kitus svarbius parametrus. Meteorologinės oro sąlygos sudaro tik dalį informacijos, reikalingos valdyti ir kontroliuoti transporto eismą automagistralėse ir transporto mazguose.



1.9 pav. Mokslininkų kelių oro sąlygų įtaką greičiui nepalankiomis oro sąlygomis tyrimų rezultatai (sudaryta autorės)

Fig. 1.9. Adverse weather condition impact on average speed by results of researchers (prepared by the author)

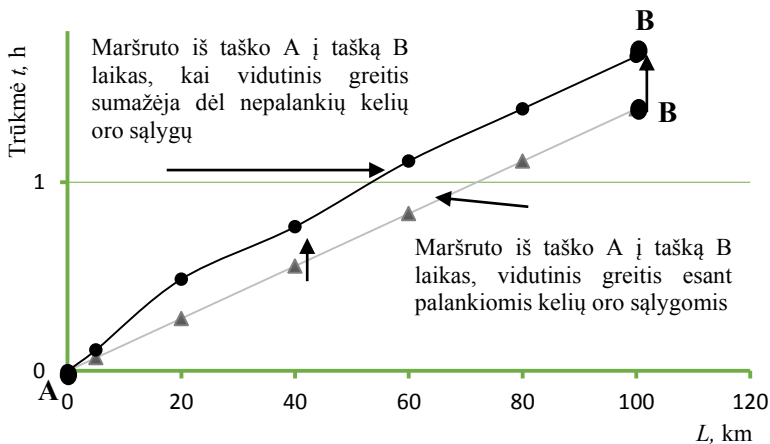
Automatinės matavimo stotys yra pagrindinis KOSIS elementas, nes jos pateikia visą sistemai reikalingą informaciją. KOSIS teikiama informacija gali padėti užtikrinti saugų ir nenutrūkstamą eismą nepalankiomis kelių oro sąlygomis, iš anksto įspėti apie kelio dangą. Tai leidžia sumažinti avaringumą, įspėjant vairuotojus apie slidų kelią ir pavojingus meteorologinius reiškinius.

Kelių oro sąlygos – vienas iš svarbiausių veiksnių, kurie dar įtaką eismo spūstims ir avarijoms, taip mažindamos vidutinį TPS greitį maršrute.

Daugelis mokslininkų (Goodwin 2002; Rakha *et al.* 2012) tyrė oro sąlygų poveikį eismo srautams ar mobilumui. Šie tyrimai atlikti vadovaujantis kiekybiniu greičio pokyčiu, maršruto trukmės matavimais, įvertinant galimą gaištį. Daugelis šių mokslininkų apibrėžė kelių oro sąlygų poveikį TPS vidutiniam greičiui ir eismo intensyvumui. Tačiau jų nuomonė išsiskyrė dėl oro sąlygų kintamųjų kategorijų pasiskirstymo.

Nagrinėjant kelių oro sąlygų įtaką vežimams, išskiriamas poveikis greičiui, gaiščiai, atsirandančiam dėl nepalankių oro sąlygų ir eismo intensyvumui. Oro sąlygos daro poveikį vairuotojo elgsenai, eismo saugumui ir mobilumui.

Kelių oro sąlygų priklausomybė vidutiniam TPS greičiui buvo tiriama daugelio mokslininkų (1.9 pav.). Lietuvos mokslininkų indėlio šioje tematikoje nebuvo, todėl teko suformuoti kelių oro sąlygų kintamųjų išskirstymą, remiantis užsienio mokslininkų tyrimų siūlymais.



1.10 pav. Teorinė maršruto iš taško A į tašką B trukmės priklausomybė nuo vidutinio transporto priemonių srauto greičio esant geroms ir nepalankioms oro sąlygoms

Fig. 1.10. Theoretical dependence of the average speed during acceptable and adverse weather conditions on route from point A point to point B

Kelių oro sąlygos turi poveikį krovinių kelių transporto priemonių saugumui, veiklai, srautui, taip pat parenkant vežimo maršrutus ir jų parinkimo metodus. Ateityje klimato sąlygų kaita gali paveikti krovinių transporto priemonių operacijas, daryti įtaką įvairiarūšio transporto infrastruktūrai ir operacijoms, transporto priemonių komponentams, vairuotojams ir kt.

Transporto infrastruktūra, skirta kroviniams transporto priemonėms, apima visas transporto rūšis įvairiarūšėje tiekimo grandinėje: kelių, geležinkelių, oro ir vandens. Oro sąlygos veikia visus tiekimo grandinės dalyvius jos jungtyse ar atskiruose mazguose. Sunkiomis oro sąlygomis, ypač esant sniegui ir slidžiai kelio dangai, padidėja transporto priemonių gaištis, sumažėja vidutinis TPS greitis. 1.10 paveiksle vaizduojama grafinė maršruto trukmės priklausomybė nuo vidutinio greičio mažėjimo nepalankiomis ir palankiomis kelių oro sąlygomis.

Kelių oro sąlygų poveikis mobilumui išreiškiamas gaištimi, spūstimis, sumažėjusiu vidutiniu greičiu ir srauto apimti bei eismo intensyvumu.

Nepalankiomis oro sąlygomis mažėja vidutinis TPS greitis, maršruto optimalumas, o dėl to gali atsirasti rizika neperkrauti įvairiarūšių krovinių pagal esamus tvarkaraščius terminaluose ar uostuose. Dėl vidutinio greičio priklausomybės nuo vieno ar kitų oro sąlygų poveikio gali atsirasti gaištis arba gali nutrūkti krovinių tiekimo grandinė.

1.4. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Atlikta mokslinės literatūros šaltinių ir išnagrinėtų mokslinių darbų analizė parodė, kad žaliasis transporto koridorius turi būti orientuotas į įvairiarūšių krovinių vežimą ir remtis pažangių technologijų taikymu. Tam, kad transporto grandinės dalyviai galėtų prisitaikyti prie augančios krovinių vežimo apimties, taip pat darant teigiamą įtaką aplinkosaugos darnai bei energijos naudojimo efektyvumo ne tik šalies teritorijoje, bet ir globaliu mastu.
2. Remiantis atlikta mokslinės literatūros šaltinių analize išsiaiškinta, kad dar trūksta mokslinių tyrimų, susijusių su įvairiarūšių krovinių vežimu žaliajame transporto koridoriuje. Žaliajame transporto koridoriuje parenkant aplinkos neteršiančią transporto rūšį išilgai maršruto, mažinti emisiją, trumpinti maršruto trukmę, numatyti gaišatį, eismo įvykius ir galimą jų trukmę, panaudoti transporto koridorių, t. y. didinti transporto priemonių krovinių srautų pralaidumą.
3. Atliktus įvairiarūšių krovinių tyrimo metodų analizę, išsiaiškinta, kad tinkamiausias yra dinaminio programavimo metodas sprendžiant

optimalaus maršruto uždavinį įvairiarūšiam transporto tinkle, taikant svertinius apribojimus (trukmę, atstumą ir emisijos kiekį).

4. Atlikta intelektinių transporto sistemų įrenginių teikiamų duomenų taikymo, parenkant transporto modelius, analizė parodė, kad nebuvo atliekami tyrimai Lietuvoje, susiję su oro sąlygų poveikiu eismo srautams ir mobilumui, apibrėžiant kelių oro sąlygų poveikį TPS vidutiniam greičiui ir eismo intensyvumui.
5. Išanalizavus mokslinių šaltinius, galima daryti išvadą, norint sudaryti tikslų įvairiarūšių krovinių optimalių maršrutų nustatymo modelį, būtina išspręsti šiuos uždavinius:
 - a) sudaryti tikslų žaliujo transporto koridoriaus optimalaus maršruto modelio algoritmą;
 - b) nustatyti intelektinės transporto sistemos priemonių (kelių oro sąlygų informacinės sistemos ir eismo intensyvumo skaitiklių) sąsajos modelį optimaliam maršruto skaičiavimui;
 - c) atlikti kelių oro sąlygų įtakos vidutiniam transporto priemonių srauto greičiui maršrute tyrimus.

Žaliojo transporto koridoriaus optimalaus maršruto sudarymo, taikant intelektinių transporto sistemų duomenis, tyrimas

Antrajame skyriuje pateikti intelektinių transporto sistemų sudedamieji elementai, patikslintos ITS ir žaliojo transporto koridoriaus sąvokos.

Skyriuje pateiktas sudarytas ŽTK topologinis žemėlapis, suformuluotas optimalaus maršruto žaliuoju transporto koridoriais tyrimo algoritmas, skirtas trumpiausiam maršruto atstumui, trukmei ir mažiausiam CO₂ kiekiui nustatyti. Šiam sprendimui sukuriamas VBA kodas taikant dinaminio programavimo Belmano modelį optimalaus įvairiarūšio transporto maršruto sprendimui. Modelis įvertina vidutinio TPS greičio priklausomybę nuo kelių oro sąlygų. Šio skyriaus medžiaga buvo publikuota straipsniuose: Jarašūnienė, Greičiūnė (2013), Greičiūnė, Jarašūnienė (2013), Jarašūnienė, Greičiūnė (2013), Jarašūnienė, Miliauskaitė (2011), Jarašūnienė, Miliauskaitė (2011).

2.1. Žaliojo transporto koridoriaus intelektinių transporto sistemų sudedamieji elementai

Intelektinės transporto sistemos, tai technologija, suteikianti galimybę plėtoti mobilumą, naujas verslo kultūras ir naujas priemones, kad transporto paslaugos būtų tvaresnės, efektyvesnės ir geresnės kokybės. Tačiau kyla problema dėl skirtingų ITS apibrėžimų, kurie yra:

- Intelektinių kelių technologijų (IKT) taikymas transporte.
- IKT taikymas transporto infrastruktūrose ir transporto priemonėse.
- Sistema, integruojanti informacines ir ryšių technologijas kartu su transporto infrastruktūra, transporto priemonėmis ir vartotojais.
- Informacinių ir telekomunikacinių technologijų derinys, padedantis teikti informaciją viešojo ir privataus valdymo srityse.
- Sinergetinių technologijų ir sistemų naudojimas tobulinant transporto sistemas.
- Telematikos ir visų tipų ryšių naudojimas transporto priemonėse, tarp transporto priemonių ir tarp transporto priemonių bei fiksuotų vietovių / neapribota vien kelių transporto.
- Pažangių ir naujai atsirandančių technologijų taikymas (kompiuteriai, jutikliai, kontrolė, komunikacijos, elektroniniai prietaisai) transporte, kad būtų gelbstimos gyvybės, taupomas laikas, pinigai, energija ir saugoma gamta.

Prieš formuojant ITS apibrėžimą, suklasifikuojamos ITS technologijos ir elementai. ITS skirstoma į intelektinę infrastruktūrą ir intelektinę transporto priemonę (2.1 pav.).

Intelektinė infrastruktūra apima:

1. Magistralių valdymą (ATMS) (2.1 pav. 1.1.1 punktas), naudojant:

- eismo priežiūros ir aptikimo technologijas (jutikliai ar vaizdo kameros), duomenų surinkimo technologijas (stacionarias technologijas: indukcinį kilpų jutiklius, magnetometrus, mikrobangų jutiklius, aktyvius infraraudonųjų spindulių jutiklius, pasyvus infraraudonųjų spindulių jutiklius, ultragarso jutiklius, akustinius jutiklius, vaizdo įrašo procesorių, uždaros televizijos sistemas (CCTV), IPEX vaizdo kameras; technologijos transporto priemonėje: kelio dangos magnetų ir transporto priemonių magnetinio lauko jutiklius, transporto priemonių sekimo sistemą naudojant palydovines sistemas, bevielės komunikavimo technologijas);
- eismui valdyti naudojamas technologijas (centralizuotą šviesoforų valdymą išilgai transporto tinklo, kintančio greičio apribojimo

ženklus, kurių informacija pateikiama priklausomai nuo jutiklių informacijos apie eismo ir kelių oro sąlygas; pėsčiųjų jutiklius prie perėjų, specializuotus pėsčiųjų signalus ir dviračių aktyvinamus signalus; specialių procesų laikinai pastatomus ženklus, apimančius laikinus eismo juostų apribojimus, keliautojų ar transporto priemonių nukreipimą);

- eismo juostoms valdyti naudojamus kintančios informacijos ženklus, eismo jutiklius, laikinus kelio ženklus, eismo juostų nukreipiamuosius ženklus, elektroninio mokėjimo, vaizdo, GPS ir automatizuotas eismo saugumą užtikrinimo technologijas, kintančius leidžiamo greičio informacinius ženklus;
- stovėjimo vietų valdymą;
- informacijos sklaidai kintančių pranešimų ženklus, greitkelio radiją (HAR);
- apribojimų technologijas: vaizdo kameros aktyvuojamus jutiklius, kai transporto priemonė viršija leistiną greitį ar kertą sankryžą esant raudonam šviesoforo signalui.

2. Greitkelių valdymą (2.1 pav. 1.1.2 punktas) (eismo priežiūrą ir stebėjimą, eismo kontrolę, eismo juostų valdymą, reagavimą į įvykius, vežimų valdymą, informacijos sklaidą, vykdymą), kuris atliekamas naudojant eismo juostų valdymo ženklus, vaizdo kameras, kintančios informacijos ženklus, kilnojamus barjerus, vartus; eismo jutiklius, elektronines mokėjimo, vaizdo, GPS ir automatizuotas eismo saugumo užtikrinimo technologijas, kintančius eismo apribojimo ženklus; vaizdo kameros aktyvinamas jutikliais, kai transporto priemonė viršija leistiną greitį, važiuoja neleistina eismo juosta ar kertą sankryžą esant raudonam šviesoforo signalui.

3. Eismo įvykių prevencijos ir saugumo (2.1 pav. 1.1.3 punktas) technologijas, skirtas nesaugioms eismo sąlygoms nustatyti ir teikti perspėjimus keliautojams, kad būtų išvengta avarių (įspėjamuosius ženklus apie staigius posūkius, dangos nelygumus ir pan., geležinkelio pervažų įspėjimo sistemas, įspėjimą apie susikertančius kelius, pėsčiųjų saugumą, įspėjimą dviratininkams, perspėjimą apie gyvūnus); elektroninius įspėjamuosius ženklus, transporto priemonės pločio ir aukščio jutiklius ir įspėjamuosius ženklus šalia kelio, automatinį pėsčiųjų ir dviračių kelio dangos apšvietimą, infraraudonųjų spindulių ar jutiklių naudojimą perspėjimui apie stambių gyvūnų buvimą kelyje.

4. Kelio darbus ir priežiūrą (2.1 pav. 1.1.4 punktas) (informacijos sklaidai, priežiūrai, darbų zonos valdyti), kuriems naudojamos kintančių ženklų technologijos, eismo srautų jutikliai ir vaizdo kameros, automatinės transporto buvimo nustatymo technologijos, eismo juostų ženklai, nešiojamieji kintančios informacijos ženklai.

5. Tranzito valdymo (2.1 pav. 1.1.5 punktas) (darbų ir automobilių parko valdymo, informacijos sklaidos, vežimo reikalavimų valdymo, saugumo ir patikimumo) technologijas: vaizdo kameros ir garso įrašymo priemonės, automatinės transporto vietos nustatymą, automatinį pranešimą apie transporto priemonės techninę būklę, automatinės keleivių apskaitos technologijas, kintančios informacijos ženklus, automatinį maršruto ir tvarkaraščio parinkimą, transporto priemonės valdymą per atstumą.

6. Eismo įvykių valdymo (2.1 pav. 1.1.6 punktas) (priežiūros ir aptikimo, mobilizavimo ir atsako, informacijos sklaidos, kliūčių šalinimo ir kelių tvarkymo) technologijas: stebėjimo ir eismo įvykių nustatymą technologijose (indukcinės kilpos, akustiniai kelio jutikliai, vaizdo kameros), automatinį transporto priemonės (dalyvaujančios eismo įvykyje) buvimo vietos nustatymą, greičiausio maršruto iki įvykio vietos nustatymo sistemą, kintančios informacijos ženklus, laikinas eismo valdymo priemones.

7. Kritinių padėčių valdymo (2.1 pav. 1.1.7 punktas) (pavojingų jų medžiagų valdymo, skubios medicininės pagalbos paslaugų, atsako ir sutvarkymo) technologijas: jutiklius pavojingosioms medžiagoms aplinkoje stebėti, elektroninės žymės transporto priemonėje.

8. Elektroninių mokėjimų ir apmokestinimų (2.1 pav. 1.1.8 punktas) (mokesčių rinkimo, tranzito mokesčio, stovėjimo vietos mokesčio, daugkartinio naudojimosi mokesčio, apmokestinimo) technologijas: automatinio apmokėjimo postai su automatinio transporto priemonių numerių atpažinimu, išmaniąsias korteles arba magnetinių juostelių technologijas, transporto priemonėje esančias žymes.

9. Informaciją keliautojams (2.1 pav. 1.1.9 punktas) (išankstinę informaciją prieš keliaujant, informaciją apie maršrutą, įvykius, apribojimus).

10. Informacijos valdymui (duomenims archyvuoti) naudojamą programinę įrangą, duomenų bazes ar elektronines duomenų saugojimo technologijas (2.1 pav. 1.1.10 punktas).

11. Krovininių transporto priemonių operacijų (leidimų administravimo, saugumo užtikrinimo, elektroninio patikrinimo, vežėjo operacijų ir automobilių parko valdymo, saugumo operacijų) technologijas: automatinės transporto priemonių svarstyklės, automatinis atsakiklis transporto priemonės viduje, transporto priemonės valstybinių numerių atpažinimo technologijas, transporto priemonės vietos nustatymo technologijas, kompiuterius transporto priemonėje, nustatančius maršrutą, jutiklius transporto priemonėje esamai krovinio būklei nustatyti, jutiklius ir vaizdo kameras eismo sąlygoms nustatyti (2.1 pav. 1.1.11 punktas).

12. Įvairiarūšių krovinų (krovinio sekimo, priežiūros, krovinų terminalų procesus, vežimo paslaugų operacijas, krovinio ir magistralės susiejimo sistemą, tarptautinius valstybinių sienų kirtimo procesus) technologijas: konteinerių

sekimo įrangą, jutiklius, vaizdo kameras, žymes, automatines krovos darbų technologijas terminaluose, dokumentų pildymą elektorinėmis sistemomis (2.1 pav. 1.1.12 punktas).

13. Kelių oro sąlygoms ir aplinkosaugos parametrams stebėti naudojamus jutiklius (termometrus, anemometrus, vėjo jutiklius), vaizdo kameras (2.1 pav. 1.1.13 punktas).

Intelektinė transporto priemonė apima:

1. Susidūrimų prevenciją (įspėjimą apie kelių sankirtas, kliūčių aptikimą, pagalbą persirikiuojant, įspėjimą apie nukrypimą nuo eismo juostos, įspėjimą apie apsivertimą, įspėjimą apie nukrypimą nuo kelio, įspėjimą apie susidūrimą iš priekio, įspėjimą apie susidūrimą iš galo). Naudojami įvairūs jutikliai transporto priemonės aplinkai stebėti, jutiklis transporto priemonėje kliūčiai kelyje nustatyti, persirikiavimo perspėjimo sistemos, mikrobangų radarai, galinio žibinto perspėjimą vairuotojui, kuris nesilaiko saugaus atstumo (2.1 pav. 1.2.1 punktas).
2. Pagalbą vairuotojui (maršruto navigaciją, vairuotojo komunikaciją, matomumo gerinimą, objekto aptikimą, pastovaus greičio kontrolę, intelektinę greičio kontrolę, pagalbą juostai išlaikyti, stabilumo kontrolę, sistemas, įspėjančias apie vairuotojo mieguistumą, automobilio vidaus stebėjimą). Naudojamos transporto priemonėje integruotos GPS navigacijos sistemos, komunikavimo tarp transporto priemonių sistemos, automobilio statymo jutikliai, pastovaus greičio palaikymo sistemos, jutikliai, įspėjantys apie galimą transporto priemonės apsivertimo pavojų (2.1 pav. 1.2.2 punktas).
3. Perspėjimą apie susidūrimą (automatinį įspėjimą apie susidūrimą, išankstinį automatinį įspėjimą apie susidūrimą) nustatančios technologijos: susidūrimo jutiklį, GPS ir bevielės komunikavimo priemones (2.1 pav. 1.2.3 punktas).

Tiksliai nustačius ITS funkcijas ir naudojamas technologijas, autorė siūlo sąvoką apibūdinti ITS – tai kroviniams ir keleiviams vežti naudojamų stebėjimo ir valdymo informacijų ir technologijų sistema, užtikrinanti efektyvią ir saugią transporto infrastruktūros ir transporto priemonių (kelių transporto priemonių su geležinkelių, oro, vandens transportu) sąveiką.

Tiksliai apibrėžus ITS sąvoką ir nustačius jos sudedamąsias dalis, lengviau įvardyti jos teikiamą naudą ŽTK procesams.

Autorės formuluojama žaliojo koridoriaus sąvoka – tai transporto koridorius, sudarytas iš tinklo ir jo dalių, kur kroviniai (srautai) į/iš transporto koridoriaus gali įeiti/išeiti keliose vietose ir krovinys gali turėti išsiuntimo/gavimo vietą abiem kryptimis, t. y. tiek už transporto koridoriaus ribų (2.2 pav. mazgai M_4 , M_5 su keliu $N_{4,5}$), tiek pačiame transporto koridoriuje (2.2 pav. mazgai M_4 , M_1 su keliu $N_{4,1}$).

Intelektinės transporto

1.1 Intelektinė infrastruktūra

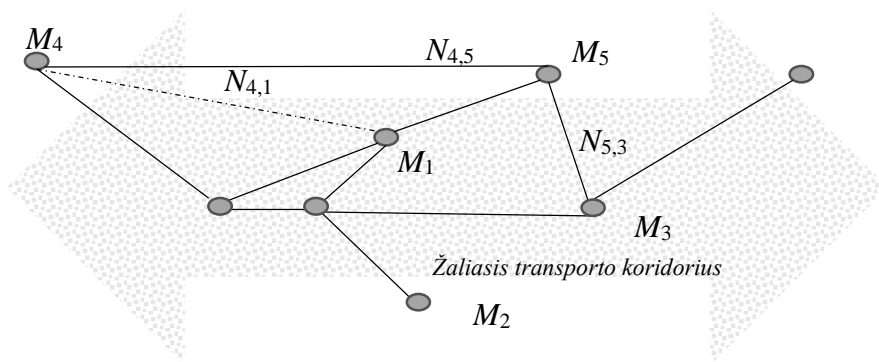
- 1.1.1 Magistralių valdymas (ATMS).** Mikrobangų, infraraudonųjų spindulių, ultragarso ir akustiniai jutikliai, indukcinės kilpos, magnetometrai, vaizdo įrašo procesoriai, uždaros televizijos sistemos, IPEX vaizdo kameros; kelio dangos magnetai ir transporto priemonių magnetinio lauko jutikliai, kintantys greičio apribojimo ir eismo juostų nukreipiamieji ženklai, kintantys leidžiamo greičio informaciniai ženklai.
- 1.1.2 Greitkelių valdymas.** Eismo juostų valdymo ženklai, vaizdo kameros, kintančios informacijos ženklai, kilnojami uždvarai ir vartai; eismo jutikliai, elektroninės mokėjimo, vaizdo, GPS ir automatizuotos eismo saugumo užtikrinimo technologijos, kintantys eismo apribojimo ženklai; vaizdo kameros, aktyvuojamos jutiklių.
- 1.1.3 Eismo įvykių prevencija ir saugumas.** Įspėjamieji ženklai, geležinkelio pervažų įspėjimo sistemos, įspėjimas apie susikertančius kelius, pėsčiųjų saugumas, įspėjimas dviratininkams, elektroniniai įspėjamieji ženklai, transporto priemonės pločio ir aukščio jutikliai bei įspėjamieji ženklai šalia kelio, automatinis pėsčiųjų ir dviračių kelio dangos apšvietimas, infraraudonųjų spindulių ar jutiklių naudojimas perspėjimui apie stambių gyvūnų buvimą kelyje.
- 1.1.4 Kelio darbai ir priežiūra.** Kintančios informacijos ženklai, eismo srautų jutikliai, vaizdo kameros, automatinės transporto buvimo nustatymo technologijos, eismo juostų ženklai, nešiojamieji kintančios informacijos ženklai.
- 1.1.5 Transzito valdymas.** Vaizdo kameros ir garso įrašymo priemonės, automatinės transporto vietos nustatymo, automatinis pranešimas apie transporto priemonės techninę būklę, automatinės keivių apskaitos technologijos, kintančios informacijos ženklai, automatinis maršruto ir tvarkaraščių parinkimas, transporto priemonės valdymas per atstumą.
- 1.1.6 Eismo įvykių valdymas.** Stebėjimo ir eismo įvykių nustatymo technologijos (indukcinės kilpos, akustiniai kelio jutikliai, vaizdo kameros), automatinis transporto priemonės buvimo vietos nustatymas, greičiausio maršruto iki įvykio vietos nustatymo sistemos, kintančios informacijos ženklai, laikinos eismo valdymo priemonės.
- 1.1.7 Kritinių padėčių valdymas.** Jutikliai pavojingosioms medžiagoms aplinkoje stebėti, elektroninės žymės transporto priemonėje.
- 1.1.8 Elektroniniai mokėjimai ir apmokestinimai.** Automatiniai apmokėjimo už naudojimąsi kelių postai su automatinio transporto priemonių numerių atpažinimu, išmaniosios kortelės arba magnetinių juostelių technologijos, transporto priemonėje esančios žymės.
- 1.1.9 Informacija keliautojams.** Kintančios informacijos ženklai, internetiniai tinklalapiai, informacinės sistemos.
- 1.1.10 Informacijos valdymas.** Naudojama programinė įranga, duomenų bazės ar elektroninės duomenų saugojimo technologijos.
- 1.1.11 Krovininių transporto priemonių operacijos.** Automatinės transporto priemonių TP svarstyklės, automatiniai atsakikliai TP viduje, TP valstybinių numerių atpažinimo technologijos, TP vietos nustatymo technologijos, kompiuteriai TP, nustatantys maršrutą, jutikliai TP, neatstatantys esamą krovinio būklę, jutikliai ir vaizdo kameros eismo sąlygoms nustatyti.
- 1.1.12 Įvairiarūšių krovinų.** Konteinerių sekimo įranga, jutikliai, vaizdo kameros, žymės, automatinės krovybos darbų technologijos terminaluose, dokumentų pildymas elektroninėmis sistemomis.
- 1.1.13 Kelių oro sąlygų ir aplinkosaugos parametrum stebėjimui** naudojami jutikliai (termometrai, anemometrai matomumui nustatyti, vėjo jutiklis), vaizdo kameros.

1.2 Intelektinė transporto priemonė

- 1.2.1 Susidūrimų prevencija.** Naudojami įvairūs jutikliai transporto priemonės aplinkai stebėti, jutiklis transporto priemonėje kliūčiai kelyje nustatyti, persirikiavimo perspėjimo sistemos, mikrobangų radarai, galinio žibinto perspėjimas vairuotojui, nesilaikančiam saugaus atstumo.
- 1.2.2 Pagalba vairuotojui.** Naudojamos transporto priemonėje integruotos GPS navigacijos sistemos, komunikavimo tarp transporto priemonių sistemos, automobilių statymo jutikliai, pastovaus greičio palaikymo sistemos, jutikliai, įspėjantys apie galimą transporto priemonės apsvertimo pavojų.
- 1.2.3 Perspėjimas apie susidūrimą** Naudojami susidūrimo jutiklis, GPS ir bevielės komunikavimo priemonės.

2.1 pav. Intelektinės transporto sistemos elementai pagal funkciją (sudaryta autorės)
Fig. 2.1. Intelligent transport system's function elements (prepared by the author)

Žaliasis transporto koridorius nėra viena konkreti jungtis tarp terminalų (vienai iš transporto rūšių), tai visuma jungčių, vežančių krovinius viena koridoriaus kryptimi skirtingomis ITT tinkle veikiančiomis transporto rūšimis. Atsižvelgiant į tai, kad koridorius yra tiesinė struktūra, turinti M mazgų ir $N = M - 1$ kelių, visi mazgai, išskyrus galinius, atlieka tranzito funkcijas. Taikomi optimizavimo modeliai, skirti neigiamiems transporto poveikio aplinkai rodikliams mažinti.



2.2 pav. Žaliojo transporto koridoriaus principinė schema (sudaryta autorės)

Fig. 2.2. Green transport corridor's principal scheme (prepared by the author)

ŽTK tyrimuose naudojamos šios sąlygos:

- žaliąjį transporto koridorių sudaro įvairiarūšio transporto tinklas;
- transporto koridorius taškuose gali būtų prijungiami/išformuojami papildomi srautai;
- žaliuoju transporto koridoriumi netrukdomai vežami kroviniai per valstybės sienos kirtimo punktus;
- žaliasis koridorius turi atlikti informacijos mainų ir įvairiarūšio transporto stiprinimo funkciją;
- plėtojamos ITS fizinei infrastruktūrai paremti;
- teikia transporto rūšių pasirinkimą, skatina konkurencingą ekonomiką ir užtikrina subalansuotą regiono plėtrą;
- ekonominis ir aplinkosauginis veiksmingumas.

2.2. Žaliojo transporto koridoriaus topologinio žemėlapis Lietuvoje sudarymas

Sudarant ŽTK Lietuvoje topologinį žemėlapi, buvo nustatyta, kokios jo dalys sudarys atskirus topologinio žemėlapi sluoksnius (nurodant terminalų, geležinkelio stočių, pasienio postų kirtimo vietas, kelių tinklą, geležinkelių linijų tinklą, ITS stacionarios įrangos vietas ir kt.). Pagal šiuos pjūvius sudaromas kiekvienas atskiras ŽTK topologinio žemėlapi sluoksnis (2.3 pav.).

ŽTK topologinis žemėlapis su jam priklausančiais sluoksniais, naudojant atitinkamus sprendimus, leidžia sumažinti maršruto trukmę, numatyti maršruto gaištį, eismo įvykių nustatymą ir galimą jo trukmę, aplinkos taršos sumažinimą, transporto koridoriaus naudojimą, t. y. transporto priemonių ir krovinių srautų pralaidumo didinimą.

Lietuvos ŽTK žemėlapyje 1520 mm geležinkelio vėžės sistemoje geležinkelio stotys yra galutiniai taškai, bet ne terminalai, t. y. Lietuvoje Klaipėdos ir Draugystės geležinkelio stotys yra paskirties (angl. *destination*) arba pradžios (angl. *origin*) taškai. Geležinkelio stotys, kurios aptarnauja įvairiarūšius krovinius, taip pat yra OD poros, naudojamos Belmano dinaminio programavimo užduotyje. Tačiau jos gali būti pradžios ar pabaigos arba tranzitiniai taškai koridoriuje. Kai traukinys atvyksta ir sustoja stotyse, kuriose jis patikrinamas techniškai, pildomi visi reikiami dokumentai, reikalingi tolesnei kelionei į terminalus.

1 sluoksnis: Įvairiarūšio transporto tinklas	<ul style="list-style-type: none"> • Geležinkelių linijų tinklo topologija (E priedas) • Kelių tinklas (F priedas) • Laivybos linijų topologija
2 sluoksnis: Terminalai, uostai, geležinkelio stotys, pasienio punktai	<ul style="list-style-type: none"> • Terminalų ir mazgų išdėstymas topologiniame žemėlapyje (G priedas)
3 sluoksnis: Apribojimai	<ul style="list-style-type: none"> • Atitinkamųvežimo apribojimų topologija
4 sluoksnis: ITS įranga	<ul style="list-style-type: none"> • Stacionarios ITS įrangos pagal atliekamas funkcijas išdėstymas ŽTK tinkle (KOSIS stotelių žemėlapis – H priede, EII skaičiuotuovų žemėlapis – I priedas)

2.3 pav. Žaliojo transporto koridoriaus tinklas ir jo dalys (sudaryta autorės)

Fig. 2.3. Green transport corridor network and its components (prepared by the author)

Vienas svarbiausių užsienio prekybos veiksnių – krovinių vežimo sąlygos tarptautiniuose transporto koridoriuose. Problema ta, kad transporto priemonių

sugaištas laikas pasienio eilėse arba atliekant formalumus ten dirbančiose valstybinėse institucijose didina vežimų sąnaudas, mažina tarptautinės prekybos efektyvumą ir valstybių įvaizdį.

Transporto priemonių sekimas suteikia galimybę žinoti, kur tam tikru laiku yra tam tikra transporto priemonė, kokius krovinius ji veža, kelionės eigą. Turimą informaciją įmonės savininkas gali panaudoti krovinių vežimams optimizuoti. Transporto priemonei netikėtai sustojus, galima labai greitai sužinoti sustojimo priežastis ir kuo greičiau tęsti krovinio vežimą toliau.

2.3. Žaliojo transporto koridoriaus optimalaus maršruto modelio algoritmas

Įvairiarūšiams kroviniams tirti pirmiausia taikomi duomenų, įvairių duomenų grupavimo ir apdorojimo metodai (KOSIS su EII įrenginių duomenų bazėse). Tyrimuose taikomi topologijos metodai, sudaromos OD jungčių poros ir kaimyninių taškų (aplinkkelių) trumpiausio kelio nustatymas, uždavinys sprendžiamas Belmano dinaminio programavimo metodu. Sudaryto matematinio modelio tikslas – nustatyti optimalų maršrutą pagal atitinkamus kriterijus (mažiausią atstumą L_{ij} , trumpiausią trukmę t_{ij} , mažiausią CO₂ emisijos E_{ij} kiekį), susiejant šį modelį su realiojo laiko intelektinių transporto sistemų įrangos (KOSIS ir EII) informacija.

Optimalaus maršruto įvesties duomenys (2.4 pav.):

1. Krovinio ir maršruto duomenys apima krovinio tipą ir kiekį (kas daro įtaką transporto rūšies pasirinkimui ir emisijos kiekiui maršrute) bei maršruto kelio charakteristikas.
2. Emisijos kiekis maršrute skaičiuojamas pagal transporto rūšies, naudojamos maršrute, emisijos kiekį (tonomis) vienam konteineriui, taip sprendžiant maršruto koridoriuje emisijos uždavinį ir nustatant emisijos kiekį atitinkamoje briaunoje (maršrute):

$$E_{ij} = EF_{ij} L_{ij} X_p, \quad (2.1)$$

čia E_{ij} – emisija (tonomis) briaunoje A_{ij} ; EF_{ij} – tarša iš naudojamos konteineriams vežti transporto priemonės, teršalų kiekis, t/TEU km; teršalų kiekis geležinkelių transporte – 168,02 CO₂ g/TEUkm, kelių transporte – 574 CO₂ g/TEU km; L_{ij} – nuvežtas atstumas p transporto rūšimi briaunoje A_{ij} , km; X_p yra lygi 1, jei briaunoje A_{ij} veikia pasirinkta transporto rūšis p , o jei nėra briaunoje pasirinktos transporto rūšies, tuomet $X_p = 0$.

Bendras emisijos kiekis (E) maršrute A_{ij} priklauso nuo TEU kiekio briaunoje, kur emisija skaičiuojama įvedant w (TEU kiekis, vnt.) pagal formulę:

$$E = E_{ij} w \quad (2.2)$$

3. Maršruto ilgis L_{ij} yra atstumas tarp V_i ir V_j su jame veikiančiomis transporto rūšimis maršruto A_{ij} briaunoje $\{i(p), j(p)\}$.
4. Maršruto trukmė (t_{ij} , h) apskaičiuojamas maršruto ilgio L_{ij} ir vidutinio TPS greičio v_{vid} (km/h) briaunoje A_{ij} santykiu:

$$t_{ij} = \frac{L_{ij}}{v_{vid}} \quad (2.3)$$

5. Kelių oro sąlygų realiuoju laiko duomenų sąsaja leidžia apskaičiuoti oro sąlygų priklausomybę vidutiniam TPS greičiui v_{vid} tarp $(i, j) \in A$ briaunoje.
6. Optimaliam maršrutui nustatyti taikant Belmano dinaminio programavimo uždavinio sprendimas VBA kodu. Sudarytas optimalaus maršruto nustatymo modelis pateikia optimalų krovinių vežimo maršrutą tarp dviejų (išėties ir paskirties) taškų pagal trumpiausią atstumą, trukmę ir mažiausią CO₂ emisijos kiekį.

Bendra pasirinkto maršruto trukmė t yra suma maršruto trukmės kiekvienoje briaunos A_{ij} segmente, t. y:

$$t = (X_{p,iu} t_{iu}) + (X_{p,uv} t_{uv}) + (X_{p,vj} t_{vj}) \quad (2.4)$$

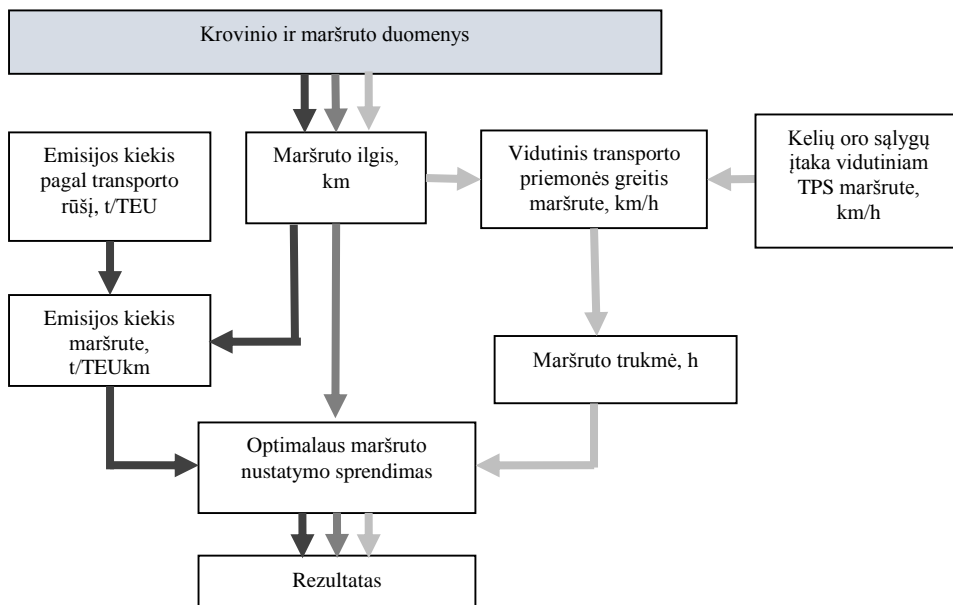
Remiantis šiais iškeltais pagrindiniais uždaviniais, sukurtas ITS įrangos teikiamų duomenų sąsajos modelis optimaliam maršrutui nustatyti, kurio tikslas – patikrinti ir rasti optimalų maršrutą pagal norimus optimalius kriterijus (2.5 pav.).

Taikant ITS sprendimus, vartotojai gauna informaciją tiek prieš kelionę, tiek kelionės metu. Sistemos naudotojai gali daug lengviau nuspręsti, kaip vežti krovinį, kokį vežimo būdą ir maršrutą pasirinkti. Dėl nuolatos vykstančių duomenų mainų atnaujinama informacija ir vairuotojai išpėjami apie maršrute esančias spūstis, apribojimus ir jiems siūlomas alternatyvūs maršrutas iki paskirties tikslo.

Norint sudaryti ŽTK topologinį žemėlapi, būtina naudoti tikslus elektroninius žemėlapius, vaizduojančius kelių ir geležinkelių tinklą.

Pagal 2.5 paveikslą susiejant 1.1 ir 1.2 punktų duomenų bazes sudaroma viena bendra duomenų bazė (1.3 punktas), kurioje pateikiami KOSIS ir EII

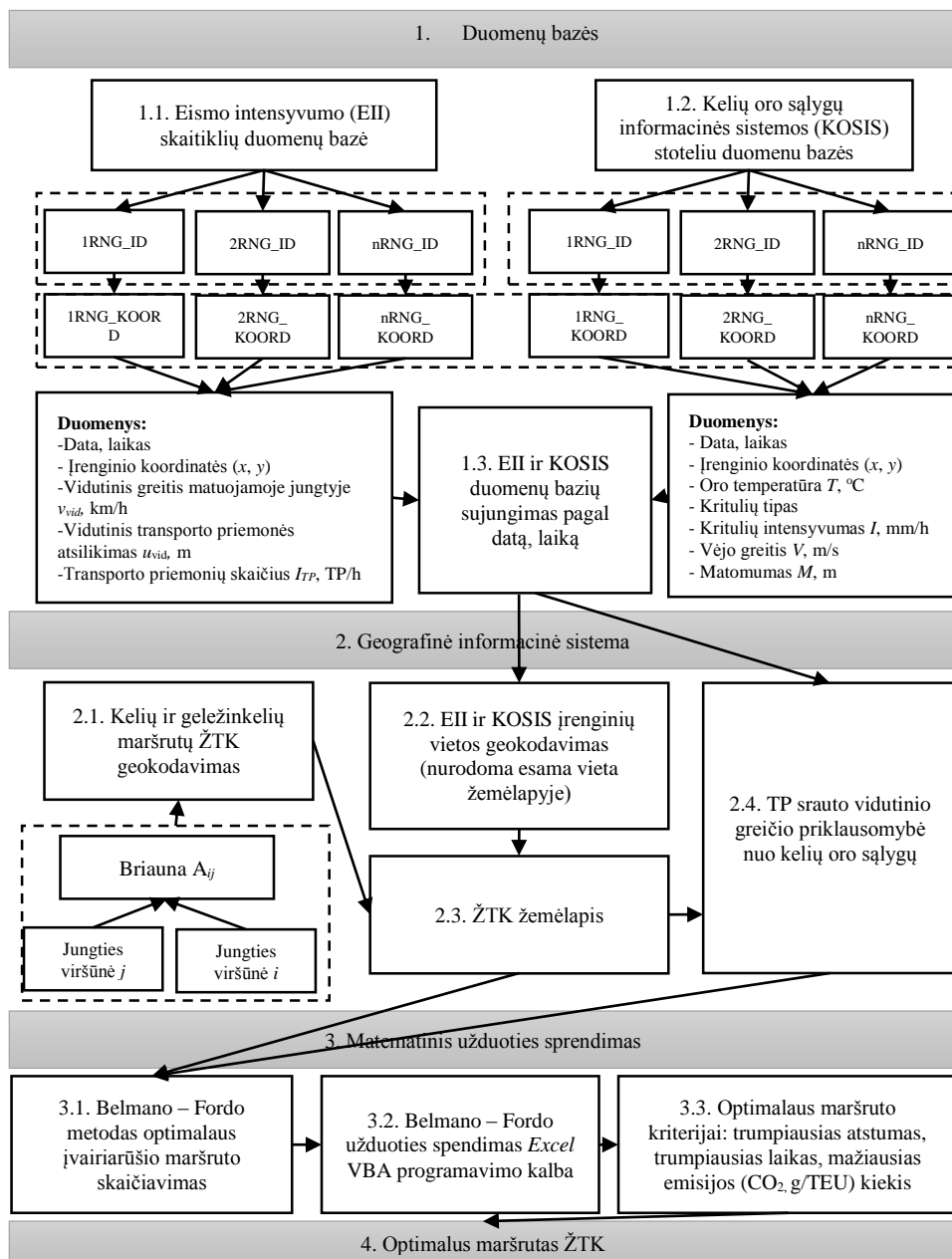
duomenys (t. y. ši sąsaja leidžia pagal pasirinktą datą, laiką, kelių oro sąlygas, nustatyti vidutinį greitį briaunoje arba, tiriant vidutinio greičio priklausomybę nuo kelių oro sąlygų, galima rasti duomenis, nurodančius, kokios kelių oro sąlygos buvo pasirinktu laiku). Taip nustatoma TP srauto vidutinio greičio priklausomybė nuo kelių oro sąlygų kategorijų (2.4 punktas).



2.4 pav. Optimalaus maršruto algoritmo principinė schema (sudaryta autorės)

Fig. 2.4. Optimal routing algorithm's principal scheme (prepared by the author)

GIS posistemyje (2.5 pav. 2 punktas) sudaromas ŽTK žemėlapis (2.3 punktas), kuris sudarytas iš ŽTK kelių ir jų aplinkkelių bei geležinkelių linijų (briaunų) tinklo, viršūnių, kurios kelių transporte įvardinamos kaip aplinkkelių ir pagrindinių ŽTK maršrutų susikirtimo taškai, bei terminalų ir geležinkelio stočių, kuriose perkraunami konteineriai. Į ŽTK žemėlapi įtraukiamos ir KOSIS ir EII įrenginių vietos (2.2 punktas).



2.5 pav. Intelektinės transporto sistemos priemonių sąsajos modelis optimaliam maršrutui nustatyti

Fig. 2.5. Intelligent transport system interface model for optimal routing

Sudaryto ŽTK žemėlapis (2.3 punktą) ir EII ir KOSIS duomenų bazių sujungta duomenų bazė (1.3 punktą) leidžia charakterizuoti kiekvieną galimą briauną maršrutui, tolesniam matematiniam sprendimui (3 punktą) nustatant optimalų ŽTK maršrutą. Naudojant 1 ir 2 punkto duomenų bazių informaciją sudarytu VBA kodu (3.2 punktą) sprendžiamas Belmano dinaminio programavimo uždavinys (3.1 punktą) siekiant optimaliai nustatyti maršrutą tarp pasirinktų išeities ir paskirties taškų pagal kriterijus (mažiausia trukmė ar atstumas ir mažiausias emisijos kiekis).

Autorė, pasitelkdama GIS, sudarė Lietuvą kertančių kelių (2.6 pav.) ŽTK tinklą. ŽTK briaunų ir viršūnių duomenys buvo išdėstyti žemėlapyje (kiekviena viršūnė turi tikslų tašką, o briauna – kelio trajektorijos taškų seką koordinacių sistemoje).

Sudarytas įvairiarūšio sausumos transporto kelių tinklas $G(V, A)$, kuriame yra aibė viršūnių V ir aibė briaunų (kelių) A . Terminalai kaip viršūnės (pagal 2.3 pav.) transporto tinkle yra atitinkami geografiniai punktai, į kuriuos reikia atvežti vienus krovinius ir išvežti kitus. Būtina sutapatinti tinklo $G(V, A)$ terminalus teigiant, kad kroviniai bet kuria briauna (keliu) $(i, j) \in A$ gali būti vežami visomis arba kai kuriomis p (transporto rūšimis).

ŽTK žemėlapis sudarymo sąlygos:

1. ITT briaunų nustatymas (pagal 2.3 pav. 1 sluoksnio duomenys) pagal veikiančias transporto rūšis $p \in P$ tarp $(i, j) \in A$ $\{i(p), dj(p)\}$.
2. ITT viršūnių nustatymas, t. y. 2.3 pav. 2 sluoksnį.
3. Kaimyninių (aplinkkelių) viršūnių ir briaunų nustatymas (u, v) trumpiausiam keliui apskaičiuoti $(i, \dots, u, v, \dots, j)$, jei pagrindiniuose transporto koridoriuose susidaro spūstys, apribojamas ar sustabdomas eismas (2.3 pav. 3 sluoksnis).
4. ITS įrangos priskyrimas ŽTK tinklui (2.3 pav. 4 sluoksnis).

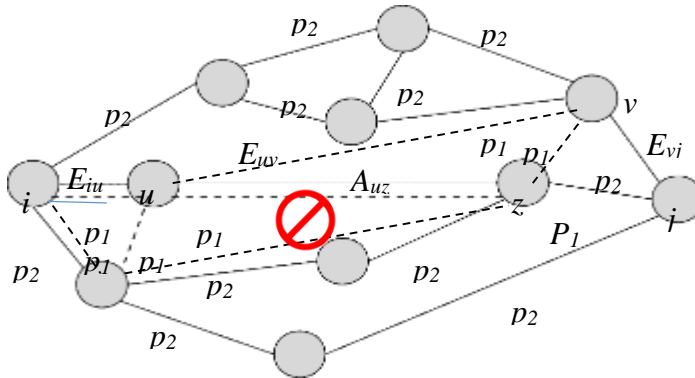
ŽTK žemėlapis gali būti iliustruotas naudojant pavyzdį 2.6 pav., kuriame sudarytas alternatyvių maršrutų tinklas kroviniams vežti iš taško i į tašką j per kaimyninius taškus (aplinkkelius), esant kliūčiai pagrindiniame kelyje (A_{uz}), nes sudarant maršrutus prioritetu laikoma galimybė išvengti spūsčių ir kliūčių jungtyse.

Kiekvienoje maršruto briaunoje apskaičiuojama CO_2 emisija, priklausomai nuo naudojamos transporto rūšies briaunoje (2.6 pav. punktyrinė linija žymi geležinkelio liniją (veikia transporto rūšis p_1), o ištisinė linija – kelių transporto jungtis (veikia transporto rūšis p_2)).

ITT išreiškiamas kaip eilė briaunų, jungtis A_{ij} yra sudaryta iš eilės sekcijų, kurių kiekis nuo 1 iki n_{ij} . Kiekviena briauna sudaryta iš kelių eismo juostų, vienos ar dviejų krypčių, jos jungia dvi svarbias briaunų viršūnes.

Kiekvienos briaunos ilgis L_{ij} tarp viršūnių apibūdina srautų pokytį per laiką t_j , srautų kintamieji matuojami laiko eile t_0, t_1, \dots, t_j , taip formuojant srautų

pokyčio skaičiavimo modelį per laiko vienetą. Srautų kintamieji per laiką t_j modelyje išreiškiami TP, A_{ij} esančių briaunoje, skaičiumi briaunoje laiku t_j ir vidutiniu TPS greičiu v_{ij} laiku t_j .



2.6 pav. Žaliojo transporto koridoriaus tinklo pavyzdinė schema vežant krovinius iš taško i į tašką j per kaimyninius taškus

Fig. 2.6. Green transport corridor network scheme transporting cargo from point i to point j via neighbouring points

Infrastruktūra, kuria vežami kroviniai, yra vienas svarbiausių elementų. Tai turi įtakos krovinių mazgų ir maršrutų jungčių pasirinkimui, o ypač atstumui tarp jų, nuo kurio priklauso maršruto trukmė t ir CO_2 emisija vežant krovinius iš pradžios taško i į paskirties tašką j .

Krovininės kelių TPS greitis kinta viso maršruto metu, t. y. transporto priemonė nevažiuoja nekintančiu maksimaliu greičiu, todėl reikia nustatyti faktinį transporto priemonės greitį kiekvienoje maršruto briaunoje priklausomai nuo kelių oro sąlygų. Šių duomenų tikslumas būtinas optimaliam maršrutui ŽTK sudaryti.

2.3.1. Kelių oro sąlygų įtaka vidutiniam transporto priemonių srauto greičiui maršrute

Remiantis literatūros analize 1.3.2 skyrelyje, daugelis mokslininkų nurodo vidutinio greičio priklausomybę nuo kelių oro sąlygų.

Kadangi oro sąlygos nekontroliuojamos, jų poveikis transporto sistemai gali būti sušvelnintas, atsižvelgiant į stebėjimo ir kelių oro sąlygų informacinių sistemų duomenis.

Pirminė meteorologinė informacija yra meteorologijos stočių stebėjimų duomenys, kita meteorologinė informacija, ypač svarbi kelių projektavimui, tiesimui, priežiūrai ir eksploatacijai, yra gaunama iš KOSIS. Klimatinės informacijos apdorojimo pagrindas – sudaromos meteorologinių stebėjimų duomenų lentelės.

Remiantis briaunose esančių EII ir KOSIS įrenginių duomenimis, sudarytas oro sąlygų ir kelių eismo intensyvumo modelis, kuris išreiškia kelių oro sąlygų įtaką vidutiniam TPS greičiui v_{vid} , vidutiniam transporto priemonių atsilikimui u_{vid} , vidutiniam automobilių intensyvumui I_{aut} ir krovinių transporto priemonių intensyvumui I_{krov} .

KOSIS ir EII į duomenų bazių sudėtį įeinančios lentelės tarpusavyje susiejamos. Ryšį tarp atskirų lentelių nustato bendri, sutampantys tų lentelių laukai. Taip susietų lentelių visuma sudaro reliacinį modelį (duomenų visuma, kurioje informacija saugoma dvimatėse lentelėse).

Surinkta duomenų aibė apdorojama statistiškai (pagal ištisinio stebėjimo duomenis), nes KOSIS ir EII duomenys apima visus be išimties stebimos visumos vienetus, kurie registruojami be jokių praleidimų. Ši informacija klasifikuojama ir analizuojama.

EII ir KOSIS duomenų sąsaja (2.5 schemos 1.3 punktas) buvo vykdoma pagal laiko rodiklį, t. y. eismo intensyvumo įrenginio duomenų fiksavimo data ir laiku buvo siejama su kelių oro sąlygų įrenginio, esančioje toje pačioje koordinatų plokštumoje, duomenimis:

$$D_{EII} = \text{vlookup} \left(\begin{array}{l} t; \text{search area} \rightarrow t_{KOS}; \\ \text{match} (v_{vid}; \text{search area} \rightarrow t_{KOS}; \text{limit} \rightarrow t; 0) \\ \text{false} . \end{array} \right), \quad (2.5)$$

čia D_{EII} – eismo intensyvumo duomenų surinkimo data; vlookup – reikšmės paieška duomenų eilutės masyvo stulpelyje; match – nurodytos reikšmės paieška stulpelių diapazone; t – duomenys KOSIS duomenų masyve; v_{vid} – vidutinio TPS greičio reikšmė t laiku. Detali duomenų sąsajos schema pateikta 2.7 paveiksle.

Šis paieškos metodas taip pat pritaikytas surasti I_{aut} , I_{krov} , u_{vid} reikšmėms atitinkamu laiku susiejant su kelių oro sąlygų ir eismo intensyvumo duomenų baze.

Kaip vienas svarbiausių aspektų optimalaus maršruto parinkimo algoritme yra vidutinis TPS greitis v_{vid} ir atstumas L_{ij} tarp viršūnių V_i ir V_j . Šie rodikliai leidžia nustatyti t_{ij}^p , transporto rūšies $p \in P$ išilgai briaunos $(i, j) \in A_p$ maršruto trukmę, kuri šiuo metu nustatomas briaunoje A_{ij} pagal leistiną greitį v , o ne pagal faktinę informaciją realiuoju laiku, kuri gali turėti žymią įtaką v_{vid} priklausomai nuo esamų kelių oro sąlygų.

Atsižvelgiant į Lietuvos geografinę poziciją ir klimato juostą sudarytas Lietuvos kelių oro sąlygų kintamųjų išskirstymas ir pagal kritulių kategorijas.

Dėl lietaus, sniego, šlapdribos, krušos ir potvynio sumažėja matomumas kelyje, kelio dangos sukibimo koeficientas, daroma žala kelių infrastruktūrai. Šios kelių oro sąlygos neigiamai veikia transporto srautus, nes mažėja eismo intensyvumas, mažėjant vidutiniam greičiui atsiranda gaištis, padidėja vidutinio greičio nepastovumas, padidėja avarių tikimybė, kelių ar tiltų eismo apribojimai ar uždarymai.

Tyrimo kelių oro sąlygos F_{KOS} pagal kritulių kategorijas yra sudarytos iš stebėjimo rezultatų $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$, čia x tyrime yra lietaus intensyvumas I_L , sniego intensyvumas I_S , oro temperatūra T , vėjo greitis V , matomumas M , stebėjimo vienuodu laiko intervalu rezultatai pagal nustatytas kritulių kategorijų grupes, kintamųjų imties dydis n per tyrimo laikotarpio intervalų skaičių k , čia $k = 1, 2, 3, \dots, n$.

Vidutinis TP srauto greitis v_{vid} (2.5 pav.), esant atitinkamoms kelių oro sąlygoms F_{KOS} , skaičiuojamas pagal F_{KOS} stebėjimo rezultatų $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ duomenis, atitinkamoms jų v_{vid} tose intervalų reikšmėms ir skaičiuojamas taip:

$$v_{vid} = \frac{(v_{vid[x_1]}, v_{vid[x_2]}, v_{vid[x_3]} \dots v_{vid[x_k]})}{n} \quad (2.6)$$

Kiekvienoje briaunoje A_{ij} esantis $v_{vid[i-j]}$ skaičiuojamas pagal 2.6 formulę, o bendras briaunų v_{vid} skaičiuojamas kaip suma visų v_{vid} kiekvienoje briaunoje ir dalijamas iš skaičiuojamų briaunų skaičiaus.

Vidutinio greičio procentiniam pokyčiui Δv_{vid} (proc.) skirtingomis F_{KOS} sąlygomis, t. y. esant F_2 oro sąlygoms, v_{vid} skirtumas nuo F_1 oro sąlygų dalijamas iš v_{vid} esant F_1 kelių oro sąlygoms, nuo kurio skaičiuojamas pokytis, taikoma 2.7 formulė:

$$\Delta v_{vid} = \frac{(v_{vid[F_1]} - v_{vid[F_2]})}{v_{vid[F_1]}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

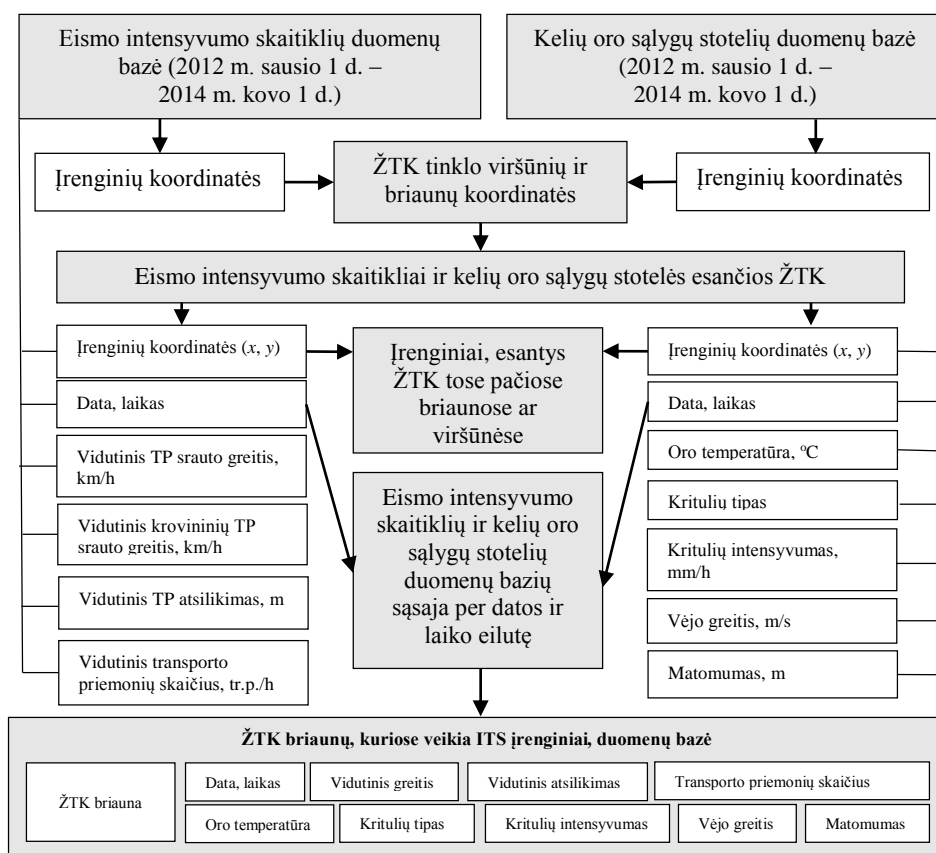
Nustatant lietaus intensyvumo vidurkį $I_{L(y)}$, buvo atsižvelgta į galimas kritulių intensyvumo ribas, kai $0 < y \leq 0,06$ mm/h, $0,07 < y \leq 0,24$ mm/h, $0,25 < y \leq 0,6$ mm/h ir $y \leq 0,6$ mm/h (2.8 formulė). Gauti v_{vid} tarp V_i ir V_j , transporto priemonių intensyvumo ir vidutiniai transporto priemonių atsilikimo rodikliai.

$$I_{L(y)} = \frac{(I_{L(y)_1} + I_{L(y)_2} + \dots + I_{L(y)_k})}{n} \quad (2.8)$$

Lietaus intensyvumo vidurkis per tiriamąjį laikotarpį, kai kritulių intensyvumo ribos: yra 0 mm/h (toliau žymimas L1); nuo 0,1–0,2 mm/h (toliau

žymimas L2); nuo 0,3–0,6 mm/h (toliau žymimas L3); daugiau negu 0,6 mm/h (toliau žymimas L4);

Žiemos metu kelių transporte atsiranda ekstremalūs meteorologiniai reiškiniai, tokie kaip sniegas, žema temperatūra ir pūga, kurie dažnai sukelia gaisrų kelionių metu ir padidina avarijų tikimybę. Tai yra dėl tokių sąlygų, kaip slidi kelio danga, perteklinis sniegas kelio paviršiuje ir ribotas matomumas. Žema temperatūra sumažina mobilumą ir kokybę transporto tinkle. Keliai tampa slidūs, ypač temperatūrai esant žemiau užšalimo ribos. Esant sniegui padaugėja nelaimingų atsitikimų, ilgėja kelionės trukmė, nes sumažėja greitis. Pūgos poveikis yra panašus kaip ir esant sniegui ir žemai temperatūrai.

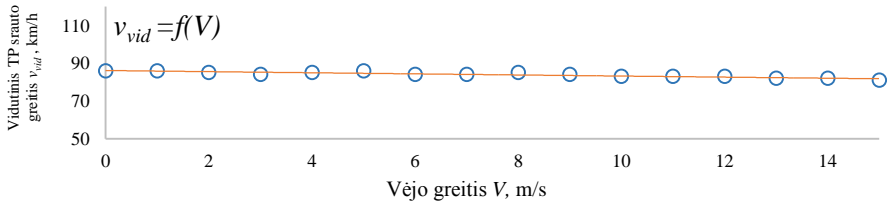
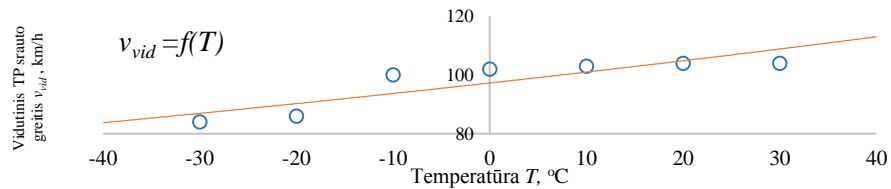
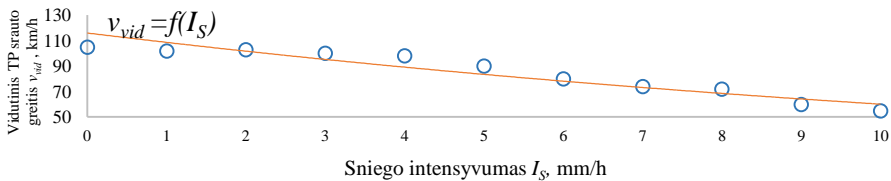
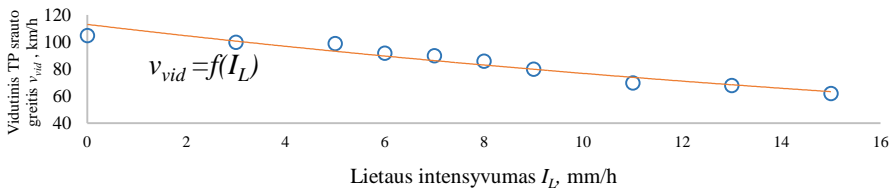


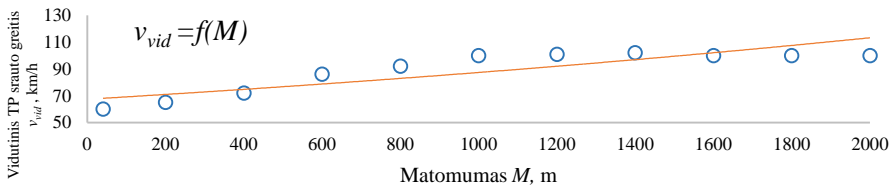
2.7 pav. Eismo intensyvumo ir kelių oro sąlygų duomenų bazių sąsajos modelis
Fig. 2.7. Traffic intensity and road weather database interface model

Nustatant sniego intensyvumo $I_{S(z)}$ vidurkį, buvo atsižvelgta į galimas kritulių intensyvumo ribas, kai $0 < z \leq 0,15$ mm/h, $0,16 < z \leq 0,34$ mm/h, $0,36 < z \leq 1,2$ mm/h ir $z \leq 1,2$ mm/h (2.9 formulė). Gauti v_{vid} tarp V_i ir V_j ir (pirmyn ir atgal), transporto priemonių intensyvumo ir vidutiniai transporto priemonių atsilikimo rodikliai.

$$I_{S(z)} = \frac{(I_{S(z)_1} + I_{S(z)_2} + I_{S(z)_k})}{n} \quad (2.9)$$

Sniego intensyvumo duomenys suskirstyti į keturias pagal poveikio vidutiniam transporto priemonių greičiui kategorijas, kai kritulių intensyvumo ribos yra iki 0,1 mm/h ($I_{S(>0,1)}$) (toliau žymimas S1); nuo 0,2–0,3 mm/h ($I_{S(0,2-0,3)}$) (toliau žymimas S2); nuo 0,4–1,2 mm/h ($I_{S(0,4-1,2)}$) (toliau žymimas S3); ir daugiau negu 1,2 mm/h ($I_{S(>1,2)}$) (toliau žymimas S4).





2.8 pav. Vidutinio TPS greičio v_{vid} priklausomybė nuo oro sąlygų keliuose briaunoje A_{ij} teorinis modelis (sudaryta autorės)

Fig. 2.8. The the theoretical model of average speed relation weather conditions on the route edge

Oro temperatūros vidurkis per laiko vieneta, kai oro temperatūros ribos yra c ir sprendžiamas uždavinys pagal formulę:

$$T_{(c)} = \frac{(T_{(c)_1} + T_{(c)_2} + \dots + T_{(c)_k})}{n} \quad (2.10)$$

Oro temperatūros ribos yra: aukštesnė nei 10°C ($T_{(>10)}$) (toliau žymimas O1); aukštesnė nei 10°C ir be kritulių ($T_{(>10 \text{ bek})}$) (toliau žymimas O2); nuo 10°C iki 1°C ($T_{(10-1)}$) (toliau žymimas O3); temperatūra krinta nuo -20°C iki 0°C ($T_{(-20-0)}$) (toliau žymimas O4); krinta žemiau nei -20°C ($T_{(>-20)}$) (toliau žymimas O5).

Esant stipriam vėjui kelyje, sumažėja matomumas dėl dalelių ar sniego, kurias nukreipia vėjas, galima eismo juostų obstrukcijos dėl vėjo užneštų šiukšlių ar prinešto sniego, sumažėja transporto priemonės efektyvumas. Nes sumažėjus vidutiniam greičiui pailgėja gaištis, galimi kelių ar tiltų eismo apribojimai ar uždarymai.

Nustatant vėjo greičio $V_{(p)}$ vidurkį, buvo atsižvelgta į galimas vėjo stiprumo ribas, kai $p < 6,7$ m/s (toliau žymimas V1), $6,8 < p < 13$ m/s (toliau žymimas V2) ir $p > 13$ m/s (toliau žymimas V3) (2.11 formulė). Gauti v_{vid} tarp V_i ir V_j , transporto priemonių intensyvumo rodikliai.

$$V_{(p)} = \frac{V_{(p)_1} + V_{(p)_2} + \dots + V_{(p)_k}}{n} \quad (2.11)$$

Matomumo problemų gali sukelti rūkas, stipri audra kartu su dideliu kiekiu lietaus arba pūga su intensyviu kiekiu sniego, smogas ar dūmai. Sumažėjus matomumui, mažėja vidutinis transporto srautų greitis ir gaištis, padidėja greičio nepastovumas, padidėja avarijų tikimybė ir kelių ar tiltų eismo apribojimai ar uždarymai.

Tyrimo metu, nustatant matomumo kelyje įtaka eismo intensyvumo rodikliams $M_{(f)}$, buvo atsižvelgta į galimas f ribas, kai $f > 0,4$ km (toliau žymimas M1) ir $f < 0,4$ km (toliau žymimas M2) (2.12 formulė).

$$M_{(f)} = \frac{(M_{(f)_1} + M_{(f)_2} + \dots + M_{(f)_k})}{n} \quad (2.12)$$

Autorės formuluojama teorinė vidutinio TPS greičio v_{vid} priklausomybė nuo KOS briaunoje A_{ij} . Esant oro sąlygoms F_{KOS} , atitinkamoms kritulių, vėjo greičio, temperatūros ar matomumo riboms, kinta v_{vid} briaunoje A_{ij} pagal eksponentinę priklausomybę (2.8 pav.).

Susiejus realiojo laiko EII ir KOSIS duomenų bazes bei nustačius vidutinį greitį v_{vid} priklausomai nuo esamų kelių oro sąlygų F_{KOS} , ŽTK briaunose galima apskaičiuoti maršruto trukmę pagal maršruto atstumą, rasti optimalų maršrutą, išsprendus uždavinį dinaminio programavimo metodu.

2.3.2. Dinaminio programavimo metodo taikymas optimalaus maršruto nustatymo modelyje

Taikant Belmano dinaminio programavimo metodą trumpiausiam keliui nustatyti ir jį integravus į Lietuvos transporto koridorių, ITS galima valdyti transporto koridorių srautus parenkant optimalų maršrutą, o tai yra pagrindinis žaliųjų transporto koridorių tikslas.

Optimalaus maršruto metodo pagrindas – tinkamai parinktos ITT viršūnės ir briaunos, kurios yra optimalaus maršruto sprendimo duomenų bazėje. Šioje duomenų bazėje kiekviena maršruto briauna ir viršūnė yra charakterizuojama. Optimalus maršruto uždavinys dalijamas į dalis (žingsnius) ir taikomas optimalumo kriterijus.

Matematinė optimalumo principo išraiška F_k , kai k -tuoju žingsniu valdymas \bar{u}_k būvį \bar{u}_{k-1} pakeičia būviu $\bar{x}_k = Y_k(\bar{x}_{k-1}, \bar{u}_k)$. Tolesni valdymai $\bar{u}_{k+1}, \dots, \bar{u}_n$ turi būti parenkami optimalaus būvio \bar{x}_k atžvilgiu, nes efektyvumo rodiklis minimizuojamas tolesniais žingsniais iki proceso galo, pažymint rodiklį, kuris nusako suminį efektyvumą nuo k -tojo iki n -ojo žingsnio:

$$Z_k = \sum_{i=k}^n f_i(\bar{x}_{i-1}, \bar{u}_i) \quad (2.13)$$

Išrinktas optimalus valdymas $u_k^* = (\bar{u}_k^*, \dots, \bar{u}_n^*)$ paskutiniais žingsniais, pradedant k -tuoju. Gaunama optimali Z_k reikšmė:

$$F_k = \min Z_k, \quad (2.14)$$

kuri priklausys tik nuo \bar{x}_{k-1} , t. y. $F_k = F_k(\bar{x}_{k-1})$.

Pagal optimalumo principą, neatsižvelgiant į valdymo funkciją \bar{u}_k , norint gauti \bar{x}_k , kiti valdymai $\bar{u}_{k+1}, \dots, \bar{u}_n$ turi būti tokie, kad efektyvumo rodiklis Z_{k+1} būtų minimalus, t. y. lygus $F_{k+1}(\bar{x}_k)$. Kadangi ši reikšmė priklauso nuo \bar{x}_k , o \bar{x}_k priklauso nuo \bar{u}_k , tai \bar{u}_k reikia parinkti taip, kad, naudojant jį kartu su optimaliais valdymais kituose žingsniuose, pradedant $(k+1)$, visų žingsnių, pradedant k -tuoju, bendras efektyvumo rodiklis būtų minimalus.

Belmano ir Fordo lygtis išreiškia dinaminio programavimo esmę. Užduot ieškant minimalumo funkcijos, priklausančios nuo n kintamųjų $\bar{u}_1, \dots, \bar{u}_n$, sprendžiama n uždavinių. Kiekviename iš tų uždavinių minimizuojama vieno kintamojo \bar{u}_k funkcija. Tačiau šie uždaviniai yra susiję, nes, sprendžiant kitą uždavinį, imama ankstesniu žingsniu gauta funkcijos reikšmė. Dinaminio programavimo uždavinio esmė – sudėtingas optimizavimo uždavinys skaidomas į seką paprastesnių uždavinių, kuriuos išsprendus, lengvai apskaičiuojamas pradinio uždavinio sprendinys.

Išreiškiant kelių transporto priemonės greičio priklausomybę nuo kelių oro sąlygų ir, pasitelkus KOSIS ir EII duomenų sąsają, gauti duomenys perkelti į optimalaus maršruto modelį, kuris sudarytas naudojant *MS Excel Visual Basic Application* programavimo kalbos kodus. Nes egzistuojančios maršrutų paieškos platformos pateikia maršruto trukmės ir atstumo skaičiavimą pagal lengvojo automobilio duomenis, tačiau neatsižvelgta į krovinio TPS v_{vid} . Net ir lengvojo automobilio vidutiniam greičiui, maršruto trukmei ir atstumui skaičiuoti naudojamas ne faktinis realusis laikas (išskyrus miestų modelius), o remiamasi nustatytu leistinuoju maksimaliu greičiu. Dėl to kyla poreikis ne tik modelyje nustatyti faktinį vidutinį važiavimo greitį, bet ir susieti optimalaus maršruto nustatymą pagal mažiausią $\min t_{ij}$, $\min L_{ij}$ ir $\min E_{ij}$ kriterijų.

Sudarytas Belmano uždavinio sprendimas programavimo kalbos *Visual Basic Application* kodas. VBA metodas – tai objektinio programavimo kalba. Kalba valdo objektus, kuriems atliekami įvairūs veiksmai. Pasikeitus programavimo aplinkai, atsirado galimybės stebėti projekto vykdymą, projektuoti priedus, visas programos kodas paskirstytas į procedūras (paprogrames), kurios redaguojamos ir iškviečiamos atskirai.

Šiuo sprendimu siekiama patvirtinti svarbias išvalgas, atliekant greitą optimalaus maršruto sprendimą tarp pasirinktų viršūnių, pagal optimalius $\min L_{ij}$, $\min t_{ij}$ ir $\min E_{ij}$ kriterijus.

2.4. Antrojo skyriaus išvados

1. Autorės sudarytas ŽTK topologinis žemėlapis su jam priklausančiais sluoksniais, naudojant atitinkamus sprendimus, leidžia sumažinti maršruto trukmę, numatyti gaišatį, aplinkos taršos sumažinimą, žaliajo transporto koridoriaus naudojimą, t. y. transporto priemonių ir krovinių srautų didesnio pralaidumo užtikrinimą.
2. Sudarytas ITS įrenginių (KOSIS ir EII) teikiamų duomenų sąsajos optimaliam maršrutui nustatyti modelis, kuriuo remiantis galima patikrinti ir rasti optimalų maršrutą žaliajame transporto koridoriuje pagal optimalius kriterijus (trumpiausią atstumą, trukmę ir mažiausią emisijos kiekį).
3. Pritaikius modelį būtų galima patvirtinti įžvalgas, atliekant greitą optimalaus maršruto nustatymą tarp pasirinktų maršruto viršūnių pagal optimalius trumpiausio laiko, trumpiausio atstumo ir mažiausio emisijos kiekio, kriterijus. Taikant dinaminio programavimo Belmano matematinį modelį, sukurtą programavimo kalbos Visual Basic for Application kodą.

Optimalaus maršruto žaliuoju transporto koridoriumi modelio taikymas

Trečiajame skyriuje pateikti dinaminio programavimo uždavinio sprendimo VBA programavimo kalbos kodu, nustatant optimalų maršrutą, rezultatai.

Atlikti Lietuvos kelių oro sąlygų įtakos vidutiniam greičiui ŽTK maršrutais tyrimai, taikant dinaminio programavimo metodą, pagal trumpiausio atstumo, trukmės funkciją ir CO₂ emisijos kiekį. Įvertintas faktinis vidutinis TPS greitis (jo priklausymas nuo kelių oro sąlygų), uždaviniui spęsti taikant Belmano dinaminio programavimo metodą, jį aprašant VBA programavimo kalbos kodu. Šio skyriaus tema publikuotas vienas straipsnis (Greičiūnės 2014).

3.1. Kelių oro sąlygų įtakos vidutiniam transporto priemonių srauto žaliuoju transporto koridoriumi greičiui nustatymo rezultatai

Autorės sudaromas Lietuvos ŽTK tinklas, apibrėžiamas maršrutų OD porų grandine. Tai eilės tvarka nurodytų viršūnių, per kurias eina grandinė, seka.

Grandinės, kurių pirma viršūnė sutampa su paskutine, vadinamos ciklais. ŽTK optimalaus maršrutui nustatyti buvo pasirinkti trys tarptautiniai transporto koridoriai, kertantys Lietuvos teritoriją:

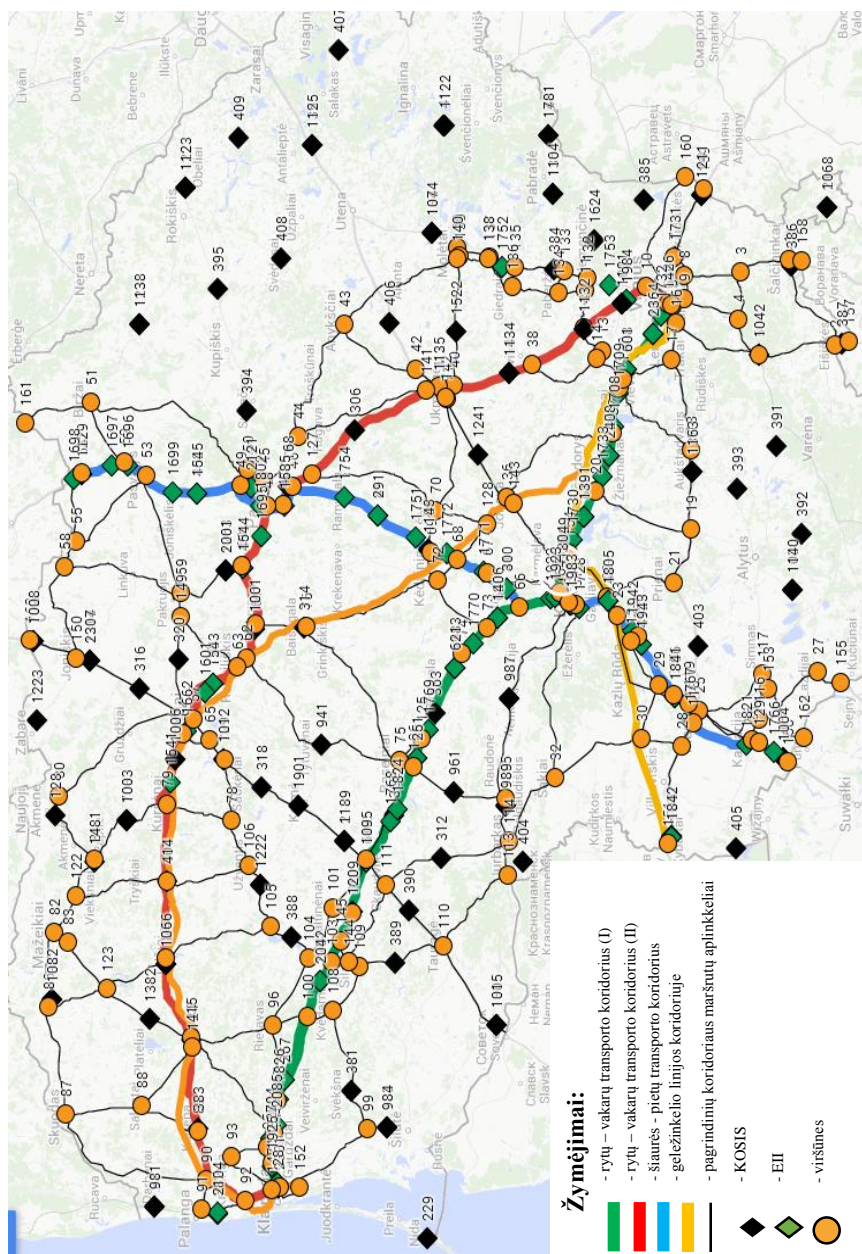
- p_{rv1} , rytų–vakarų transporto koridorius (A1). Maršruto briaunų (sekcijų) seka (3.1 pav.): $V_6 \rightarrow V_{131} \rightarrow V_{130} \rightarrow V_{15} \rightarrow V_{37} \rightarrow V_{20} \rightarrow V_{35} \rightarrow V_{34} \rightarrow V_{66} \rightarrow V_{73} \rightarrow V_{103} \rightarrow V_{100} \rightarrow V_{97} \rightarrow V_{74} \rightarrow V_{125} \rightarrow V_{126} \rightarrow V_{112} \rightarrow V_{102} \rightarrow V_{145} \rightarrow V_{98} \rightarrow V_{95} \rightarrow V_{148} \rightarrow V_{94}$;
- p_{rv2} , rytų–vakarų transporto koridorius (A2, A9, A11). Maršruto briaunų (sekcijų) seka (3.1 pav.): $V_6 \rightarrow V_{131} \rightarrow V_{10} \rightarrow V_{12} \rightarrow V_{38} \rightarrow V_{63} \rightarrow V_{57} \rightarrow V_{64} \rightarrow V_{79} \rightarrow V_{40} \rightarrow V_{41} \rightarrow V_{141} \rightarrow V_{127} \rightarrow V_{46} \rightarrow V_{47} \rightarrow V_{48} \rightarrow V_{60} \rightarrow V_{61} \rightarrow V_{62} \rightarrow V_{107} \rightarrow V_{84} \rightarrow V_{124} \rightarrow V_{89} \rightarrow V_{90} \rightarrow V_{92} \rightarrow V_{147} \rightarrow V_{94}$;
- p_{sp} , šiaurės–pietų transporto koridorius (A10, A8, A5). Maršruto briaunų (sekcijų) seka (3.1 pav.): $V_{54} \rightarrow V_{52} \rightarrow V_{53} \rightarrow V_{49} \rightarrow V_{48} \rightarrow V_{47} \rightarrow V_{69} \rightarrow V_{68} \rightarrow V_{67} \rightarrow V_{66} \rightarrow V_{34} \rightarrow V_{33} \rightarrow V_{31} \rightarrow V_{22} \rightarrow V_{23} \rightarrow V_{120} \rightarrow V_{24} \rightarrow V_{119} \rightarrow V_{118} \rightarrow V_{129} \rightarrow V_{156}$.

Autorės sudaryto ŽTK maršrutų duomenys suskirstyti pagal galimas viršūnių jungtis (su pradžios ir pabaigos viršūnėmis), taip sudarant briaunų sekas pagal pasirinkto maršruto ŽTK.

Suformavus ŽTK tinklą, uždaviniui buvo nustatyta sąlyga, kad ITT tinklas, esantis aplink koridorius, turi būti sujungtas kaip potenciali aplinkkelio galimybė dėl susidariusios kliūties pagrindiniame koridoriuje, apie kurią turėtų informuoti ITS. Lietuvos ŽTK buvo nustatytos $V = 165$ (viršūnės) ir $A = 488$ (briaunos) ir jose veikia p_1 ir p_2 .

Formuojant transporto koridorių tinklą buvo panaudotas GPS VIZUALIZER, kur eksperimento metu visa žemėlapiu duomenų bazė buvo sudaryta iš koordinatinių sistemų. Pagal šią koordinatinių sistemą apskaičiuoti atstumai tarp nustatytų susikirtimo taškų, t. y. briaunų ilgis. Šie duomenys naudojami taikant Belmano dinaminio programavimo metodą kaip rodiklis, kuris leidžia apskaičiuoti optimalų maršrutą transporto tinklu, kilus poreikiui pakeisti maršrutą ir pasinaudoti aplinkkeliais dėl susidariusios kliūties pagrindiniame transporto koridoriuje.

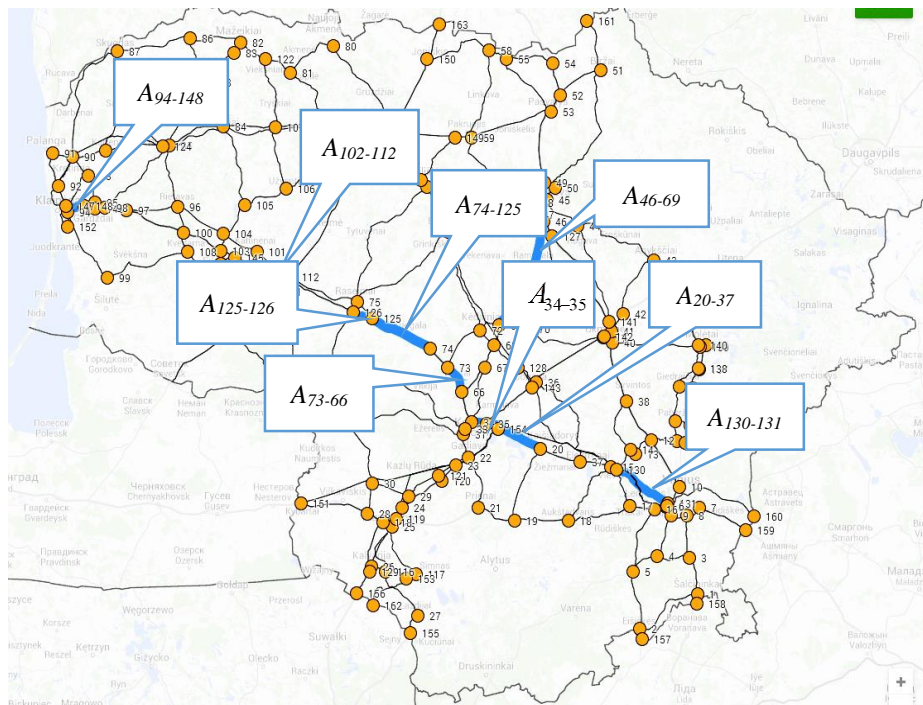
Vienas svarbiausių aspektų yra tas, kad žaliojo koridoriaus briaunose yra ITS įrenginiai, kurie renka ir perduoda informaciją realiuoju laiku apie eismo intensyvumą ar kelių oro sąlygas (3.1 pav.). Sudarytame Lietuvos ITT pagal esančias EII ir KOSIS įrenginių vietas briaunose išskiriamos devynios maršruto briaunos tarp viršūnių, kurios įvardijamos kaip ŽTK jungtys, nes turi briaunose veikiančias ITS, informacija perduodama realiuoju laiku ir yra Lietuvą kertančių tarptautinių transporto koridorių dalis. KOSIS stotelių informacija atnaujinama kas 15 minučių. Visų turimų duomenų, kuriuos jos fiksuoja, analizuoti netekslinga.



3.1 pav. Lietuvos žaliąjo transporto koridorius žemėlapis su galimais aplinkkeliais (sudarytas autorės)

Fig. 3.1. Green transport corridor in Lithuania map with possible detours

Tiriant kelių oro sąlygų įtaką vidutiniam greičiui, reikia remtis suskirstytais kelių oro sąlygų kategorijomis (2.3.1 poskyris), kur apskaičiuojamas TP srauto v_{vid} pagal kiekvienos F_{KOS} intervalus.



3.2 pav. Žaliojo transporto koridoriaus maršrutai su esančiais eismo intensyvumo skaitikliais ir kelių oro sąlygų sistema

Fig. 3.2. Green transport corridor routes with traffic intensity calculators and Road Weather Information System

Norint nustatyti kiekvienos F_{KOS} kategorijos intervalo įtaką vidutiniam TPS greičiui v_{vid} , ŽTK tyrimas buvo atliekamas briaunose A_{20-37} , A_{34-35} , A_{46-69} , A_{73-66} , A_{74-125} , A_{94-148} , $A_{102-112}$, $A_{125-126}$, $A_{130-131}$, kuriose buvo naudojami dviejų tipų duomenys, t. y. eismo intensyvumo ir kelių oro sąlygų duomenys.

Eismo intensyvumo ir kelių oro sąlygų duomenis pateikė Lietuvos automobilių kelių direkcija, tačiau duomenų bazių ir jų sąsajos modelį vykdė autorė. Tyrimo metu apdorotas didelis kiekis duomenų eilučių iš KOSIS stotelių ir klasifikatorių MARKSMAN 660 duomenų bazių (3.1 lentelė) kiekvienoje ŽTK priskirtoje briaunoje 15 minučių intervalu. Tyrimo laikotarpio pradžios ir pabaigos datos ir duomenų eilučių skaičius nurodytas nurodytos 3.1 lentelėje.

Tyrimo metu gauti TPS v_{vid} duomenys, esant $I_{L(0)}$, sudarė $v_{vid(0)} = 93,8$ km/h (taikant 2.6 formulę); esant $I_{L(0,1-0,2)}$, sudarė $v_{vid(0,1-0,2)} = 95,16$ km/h; esant $I_{L(0,3-0,6)}$, sudarė $v_{vid(0,3-0,6)} = 95,82$ km/h; esant $I_{L(>0,6)}$, sudarė $v_{vid(>0,6)} = 94,33$ km/h. Vertinant TPS v_{vid} , pagal skirtingus lietaus kritulių intensyvumo rodiklius, didelės įtakos greičiui nebuvo pastebėta. Tačiau, atsižvelgiant į tai, kad faktinis TPS v_{vid} briaunose labai skiriasi nuo leistinojo v , kuris yra nuo 90 iki 130 km/h ($v_{vid} = 101,5$ km/h), galima daryti prielaidą, kad, norint rasti optimalų maršrutą pagal t_{ij} , kai L_{ij} įveikiamas atitinkamu v_{ij} , esant didesniam faktiniam v_{vid} , yra iškraipoma informacija apie t_{ij} . Dėl to, naudojant realiojo laiko informaciją, galima tiksliau apskaičiuota optimalų maršrutą.

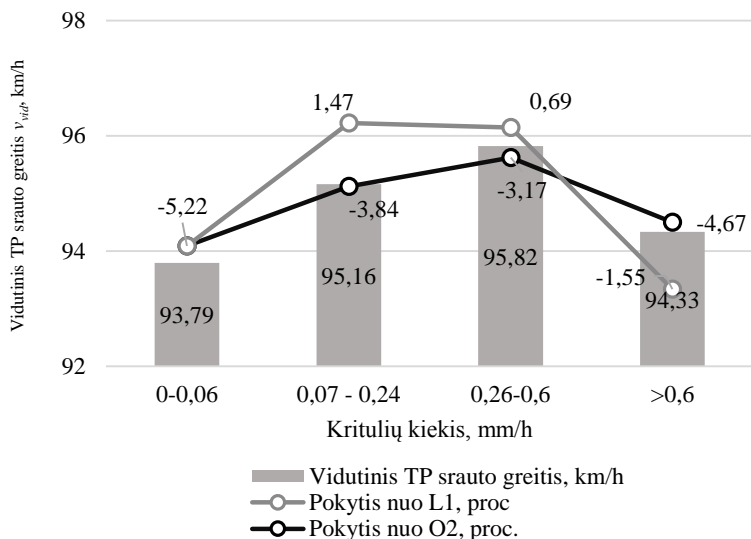
3.1 lentelė. Lietuvos ŽTK kelių oro sąlygų įtakos tyrimo apimties duomenys

Table 3.1. Green transport corridor in Lithuania road weather impact research data

Briauna	Tyrimo laikotarpis	Kintamųjų imties dydis, n
A_{20-37}	2012-01-01–2014-03-01	57473
A_{34-35}	2012-01-01–2014-03-01	58364
A_{46-69}	2012-01-04–2014-03-01	39104
A_{73-66}	2012-01-01–2014-03-01	62953
A_{74-125}	2012-01-01–2014-03-01	57201
A_{46-69}	2012-01-01–2014-03-01	55486
$A_{102-112}$	2012-01-01–2014-03-01	54729
$A_{130-131}$	2012-01-01–2014-03-01	62627
A_{94-148}	2012-01-01–2014-02-28	61996

Lietaus intensyvumo rodiklis turėjo nedidelę įtaką bendro transporto priemonių intensyvumui I_{aut} , kuris sudarė nuo 373 iki 479 transporto priemonių per valandą, iš to skaičiaus I_{krov} transporto priemonių skaičius (pirmyn ir atgal) (krovininės transporto priemonės su sunkiasvore priekaba) per valandą, kurį sudarė nuo 22 iki 29 transporto priemonės per valandą. Tačiau didžiausias lietaus intensyvumo poveikis pasireiškė esant vidutiniam transporto priemonių atsilikimui u_{vid} , kai $u_{vid(0)} = 151$ m, $u_{vid(0,1-0,2)} = 130$, tai ai yra 13 % mažėjimas, palyginti su $u_{vid(0)}$, $u_{vid(0,3-0,6)} = 136$ m, tai 9,5 % mažėjimas, lyginant su $u_{vid(0)}$ ir $u_{vid(>0,6)} = 139$ m (–7,5 % pokytis nuo $u_{vid(0)}$), dėl mažėjančio u_{vid} padidėja tikimybė susidaryti spūstims, eismo įvykiams, dėl to mažėja v_{vid} (3.3 pav.).

3.3 paveiksle vaizduojamas visų tiriamų briaunų ir jo procentinis pokytis atsižvelgiant į lietaus intensyvumą ir bazinį palankiomis $T_{(>10bek)}$ kelių oro sąlygomis. 3.4 pav. pateikiami kiekvienos briaunos $v_{vid} = f(I_L)$ vidutinio greičio priklausomybės nuo lietaus intensyvumo I_L tyrimo rezultatai.



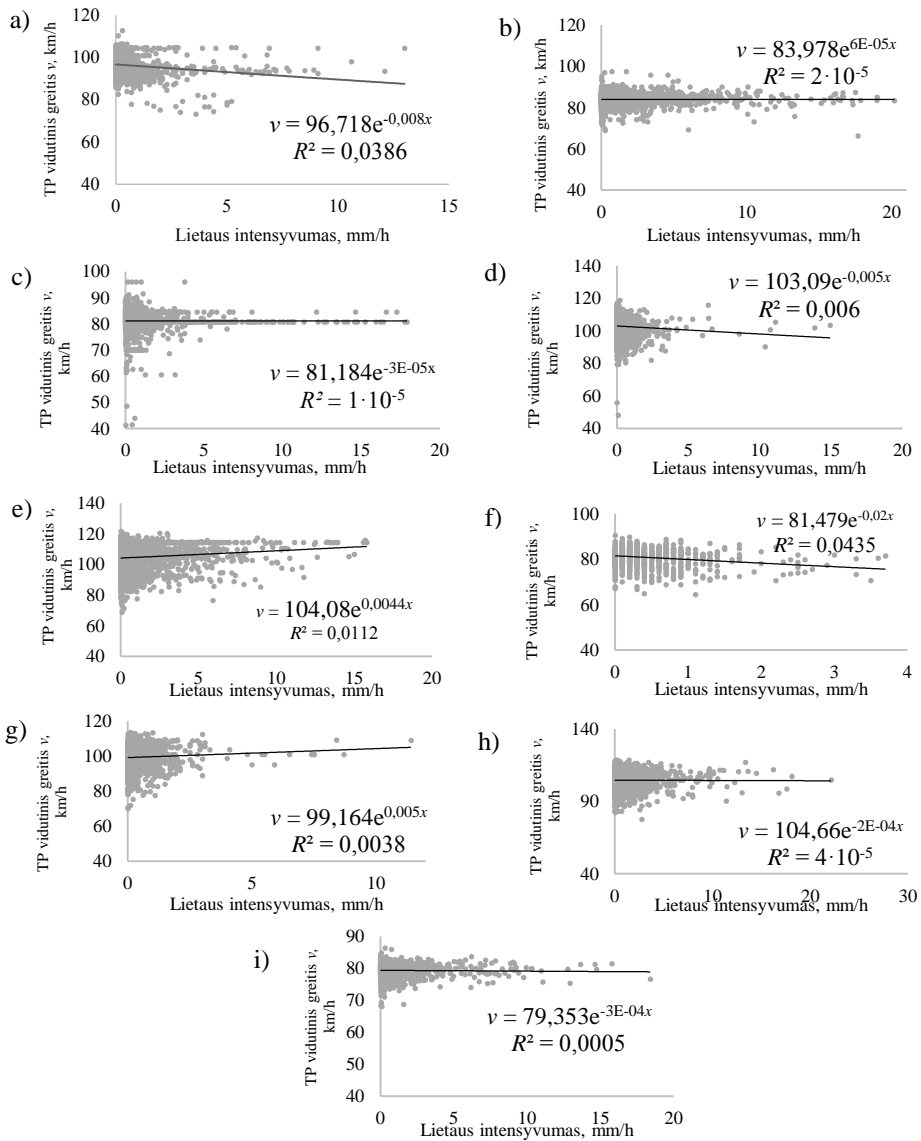
3.3 pav. Lietaus kiekio įtaka vidutiniam greičiui (sudaryta autorės)

Fig. 3.3. The influence of rainfall on the average speed (prepared by the author)

Pritaikius greičio $v_{vid} = f(I_L)$ priklausomybės nuo sniego intensyvumo $I_{S(f)}$ skaičiavimą, matomas akivaizdus kitimas kiekvienoje briaunoje (3.4 pav.), kuris priklauso nuo x rodiklių didėjimo, apskaičiuotas bendras briaunų $v_{vid(>0,1)} = 88,37$ km/h, $v_{vid(0,2-0,3)} = 87,9$ km/h ($-0,5$ % pokytis nuo $v_{vid(>0,1)}$), $v_{vid(0,4-1,2)} = 86,5$ km/h (-2 % pokytis nuo $v_{vid(>0,1)}$), $v_{vid(>1,2)} = 85,9$ km/h ($-2,7$ % pokytis nuo $v_{vid(>0,1)}$). Lyginant $v_{vid(>1,2)}$ su $v_{vid(>10 \text{ bek})}$ matomas akivaizdus greičio kritimas – net 13 % (3.4 pav.).

Sniego intensyvumo rodiklis x neturėjo pastebimos įtakos bendro transporto priemonių intensyvumui I_{aut} , kuris sudarė nuo 281 iki 315 transporto priemonės per valandą, iš to skaičiaus I_{krov} transporto priemonių skaičius (pirmyn ir atgal) (krovininė su sunkiasvore priekaba) per valandą, sudaręs nuo 18 iki 20 transporto priemonių per valandą.

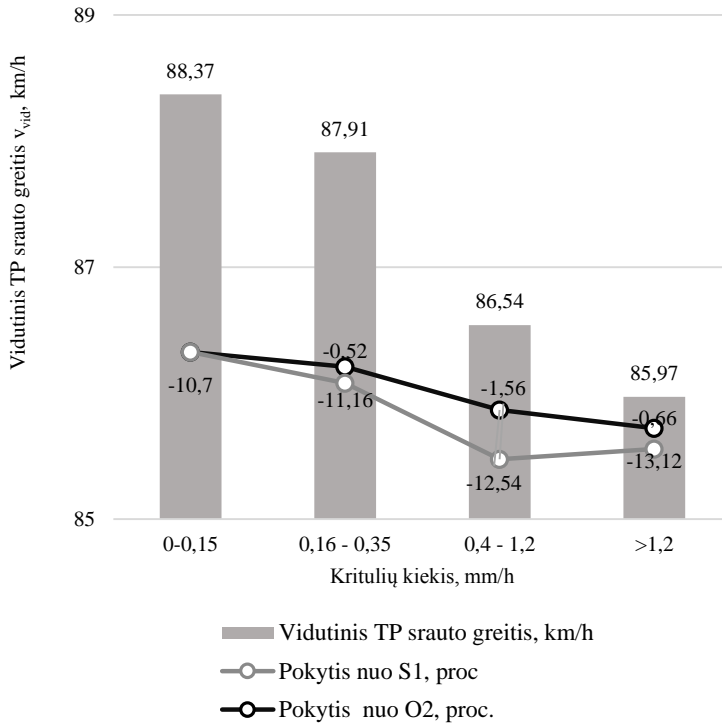
Tyrimo metu nepastebėta, kad, didėjant sniego intensyvumo rodikliams, pastebimai kistų u_{vid} , tačiau jie yra didesni nei u_{vid} esant $I_{L(y)}$. Tai įrodo, kad iškritus sniegui, TP srauto v_{vid} mažėja, pasirenkamas didesnis u_{vid} , taip prailginamas maršruto t_{ij} .



3.4 pav. $v_{vid} = f(I_L)$, vidutinio greičio priklausomybė nuo lietaus intensyvumo I_L briaunose: a) A₂₀₋₃₇, b) A₃₄₋₃₅, c) A₄₆₋₆₉, d) A₇₃₋₆₆, e) A₇₄₋₁₂₅, f) A₉₄₋₁₄₈, g) A₁₀₂₋₁₁₂, h) A₁₂₅₋₁₂₆, i) A₁₃₀₋₁₃₁ (sudaryta autorės)

Fig. 3.4. The influence of rainfall intensity on the average speed in edges: a) A₂₀₋₃₇, b) A₃₄₋₃₅, c) A₄₆₋₆₉, d) A₇₃₋₆₆, e) A₇₄₋₁₂₅, f) A₉₄₋₁₄₈, g) A₁₀₂₋₁₁₂, h) A₁₂₅₋₁₂₆, i) A₁₃₀₋₁₃₁ (prepared by the author)

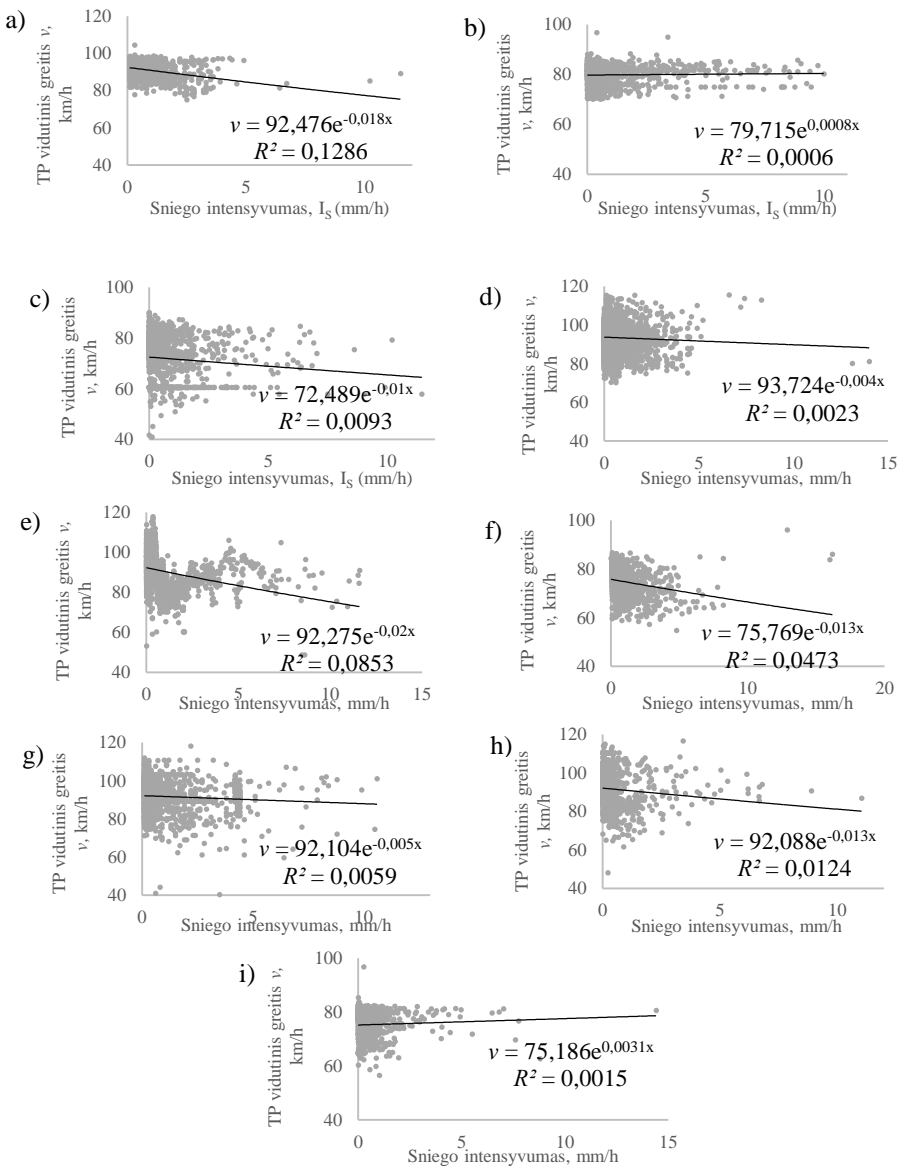
Nustatant oro temperatūros $T_{(c)}$ vidurkį, buvo atsižvelgta į galimas temperatūros ribas, kai $c > 10^\circ\text{C}$ (be kritulių), $c > 10^\circ\text{C}$, $10^\circ\text{C} < c > 1^\circ\text{C}$, $0 > c > -20^\circ\text{C}$ ir $c < -20^\circ\text{C}$. Gauti v_{vid} tarp V_i ir V_j (pirmyn ir atgal), transporto priemonių intensyvumo ir vidutiniai transporto priemonių atsilikimo rodikliai.



3.5 pav. Sniego kiekio įtaka vidutiniam greičiui (sudaryta autorės)

Fig. 3.5. The influence of snowfall on the average speed (prepared by the author)

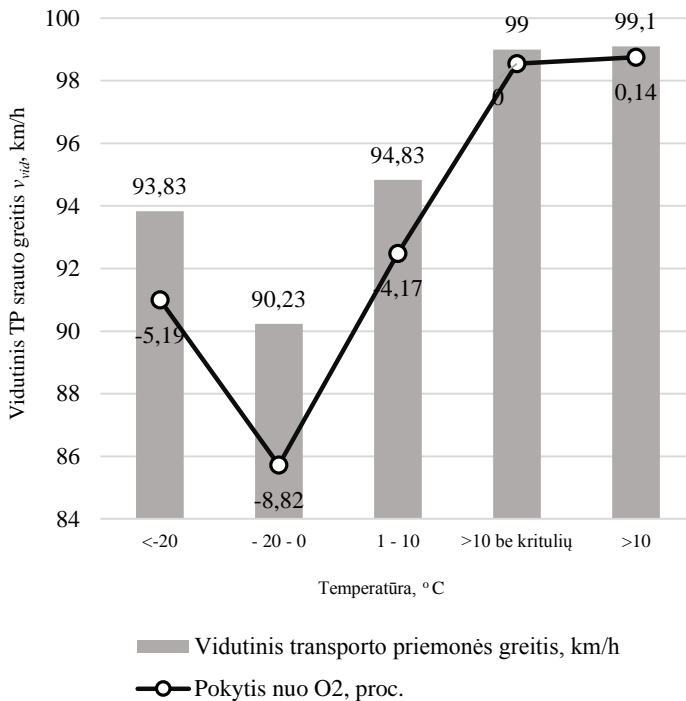
Skaiciuojant $T_{(>10 \text{ bek})}$ pasirinktas kaip bazinis rodiklis dėl to, kad tuo metu nebuvo kritulių, kurie galėtų turėti įtakos, bei esama temperatūra yra aukštesnė nei 10°C ir tai sudaro idealias važiavimo sąlygas. Lyginant briaunų priklausomybę, esant $T_{(>10 \text{ bek})}$ (3.6 pav.), ir priklausomybę, esant $T_{(\text{sukrit})}$, išryškėja, kad nepaisant temperatūros kitimo v_{vid} yra didesnis esant $T_{(\text{bek})}$.



3.6 pav. $v_{vid} = f(I_s)$, vidutinio greičio priklausomybė nuo sniego intensyvumo I_s briaunose: a) A_{20-37} , b) A_{34-35} , c) A_{46-69} , d) A_{73-66} , e) A_{74-125} , f) A_{94-148} , g) $A_{102-112}$, h) $A_{125-126}$, i) $A_{130-131}$ (Sudaryta autorės)

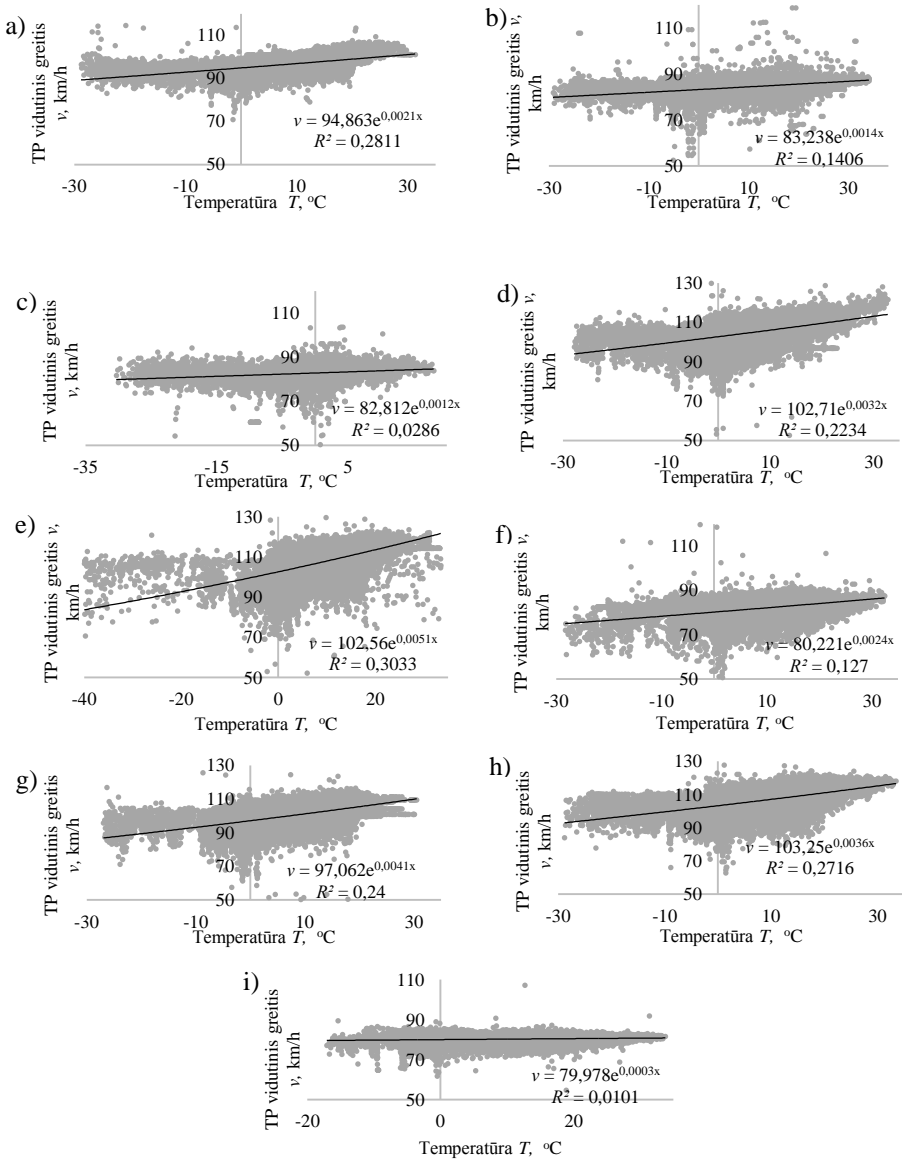
Fig. 3.6. The influence of snowfall intensity on the average speed in edges: a) A_{20-37} , b) A_{34-35} , c) A_{46-69} , d) A_{73-66} , e) A_{74-125} , f) A_{94-148} , g) $A_{102-112}$, h) $A_{125-126}$, i) $A_{130-131}$ (prepared by the author)

Oro temperatūros ($T_{(c)}$) poveikis v_{vid} TPS, kai temperatūra ($^{\circ}\text{C}$) krinta, tai mažėja v_{vid} ($v_{vid(>10\text{bek})} = v_{vid(>10)} = 99 \text{ km/h}$, $v_{vid(10-1)} = 94,8 \text{ km/h}$ ($-4,2 \%$), $v_{vid(-20-0)} = 90,2 \text{ km/h}$ ($-8,9 \%$), $v_{vid(<(-20))} = 93,8 \text{ km/h}$ ($-5,2 \%$) (3.7 pav.). Oro temperatūra didžiausią poveikį v_{vid} turi, kai temperatūra krinta žemiau 0°C , o Lietuvoje žiemos sezonu (nuo gruodžio iki kovo mėn.) būna didelė kritulių ir plikledžio tikimybė. Temperatūrai pasiekus -20°C ir krintant žemiau, dažniausiai kritulių tikimybė mažesnė, tačiau tokia temperatūra daro didelį poveikį transporto priemonių technologiniams įrenginiams ir mechanizmams.



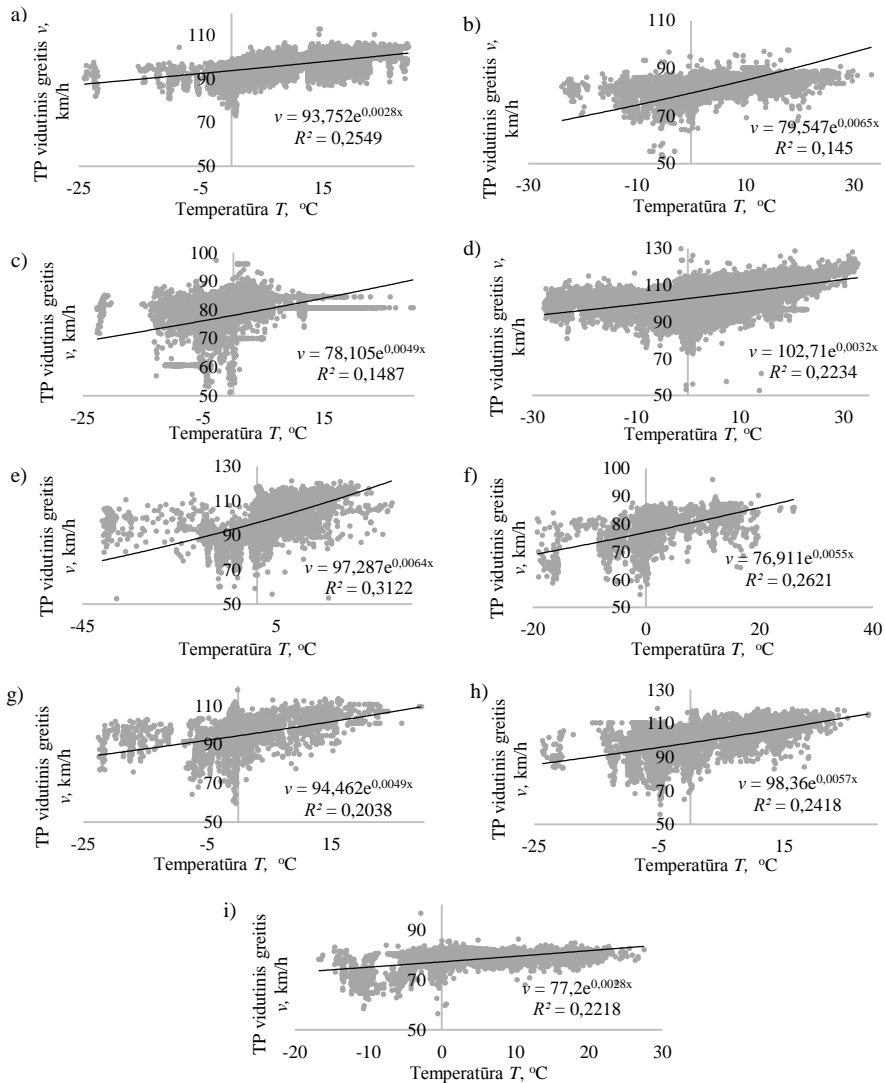
3.7 pav. Oro temperatūros įtaka vidutiniam greičiui (sudaryta autorės)
Fig. 3.7. Air temperature influence on average speed (prepared by the author)

Vienas iš akivaizdžiausių $T_{(c)}$ kaitos poveikių matomas I_{aut} išraiška, kai $I_{aut(>10\text{bek})} = 461 \text{ transp.pr./h}$, $I_{aut(>10)} = 446 \text{ transp.pr./h}$ (pokytis $3,3 \%$), $I_{aut(10-1)} = 377 \text{ transp.pr./h}$ ($-18,25 \%$), $I_{aut(-20-0)} = 290 \text{ transp.pr./h}$ ($-37,2 \%$), $I_{aut(<(-20))} = 179$ ($-61,1 \%$).



3.8 pav. $v_{vid} = f(T_{(bek)})$, vidutinio greičio priklausomybė nuo temperatūros $T_{(bek)}$ (be kritulių) briaunose: a) A_{20-37} , b) A_{34-35} , c) A_{46-69} , d) A_{73-66} , e) A_{74-125} , f) A_{94-148} , g) $A_{102-112}$, h) $A_{125-126}$, i) $A_{130-131}$ (sudaryta autorės)

Fig. 3.8. The influence of snowfall on the average speed in edges: a) A_{20-37} , b) A_{34-35} , c) A_{46-69} , d) A_{73-66} , e) A_{74-125} , f) A_{94-148} , g) $A_{102-112}$, h) $A_{125-126}$, i) $A_{130-131}$ (prepared by the author)

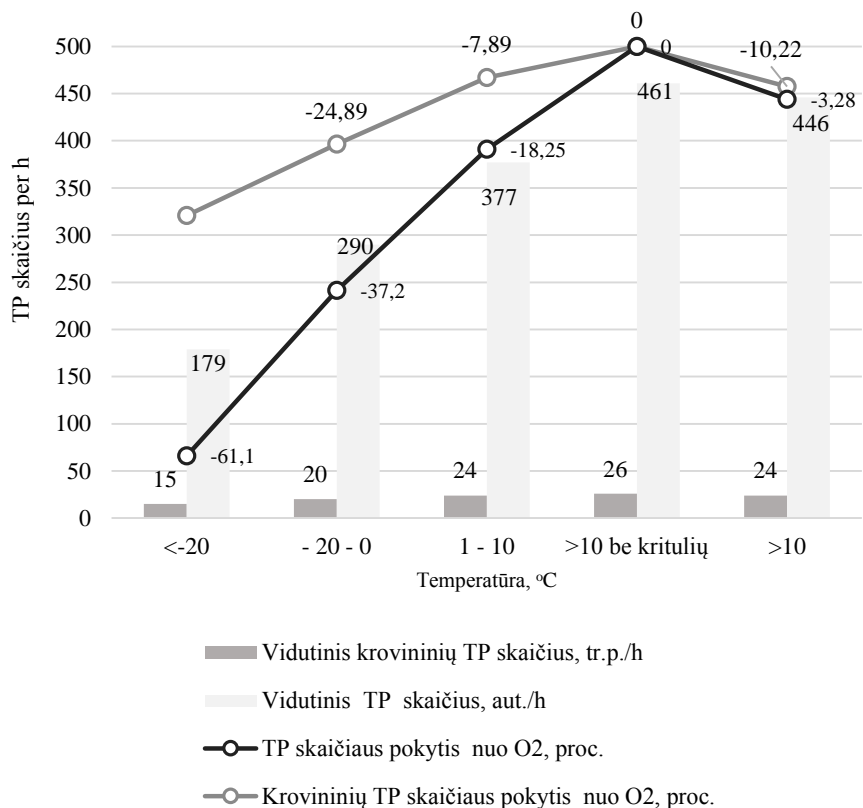


3.9 pav. $v_{vid} = f(T_{(sukrit)})$, vidutinio greičio priklausomybė nuo temperatūros $T_{(sukrit)}$ (su krituliais) briaunose: a) A_{20-37} , b) A_{34-35} , c) A_{46-69} , d) A_{73-66} , e) A_{74-125} , f) A_{94-148} , g) $A_{102-112}$, h) $A_{125-126}$, i) $A_{130-131}$ (sudaryta autorės)

Fig. 3.9. The influence of temperature (precipitation) on the average speed in edges: a) A_{20-37} , b) A_{34-35} , c) A_{46-69} , d) A_{73-66} , e) A_{74-125} , f) A_{94-148} , g) $A_{102-112}$, h) $A_{125-126}$, i) $A_{130-131}$

Eksperimento metu gautas toks rezultatas, kad krintant temperatūrai bendras I_{aut} taip pat mažėja, nes didėja kritulių ir sudėtingų oro sąlygų keliuose tikimybė.

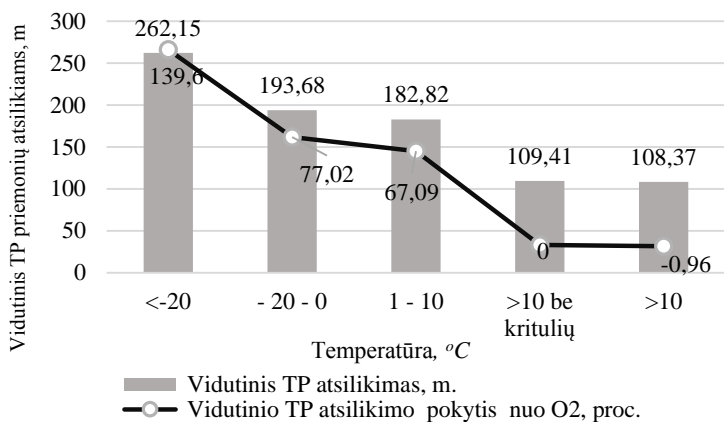
Tačiau vertinant I_{krov} rodiklį matomas nedidelis pokytis, vertinant krovinių transporto priemonių skaičių, kai $I_{krov(>bek)} = 26$ krov.pr./h, o $I_{krov(<-20))} = 15$ krov.pr./h (tačiau procentinis pokytis akivaizdus -43%) (3.10 pav.).



3.10 pav. Oro temperatūros įtaka transporto priemonių skaičiui (sudaryta autorės)

Fig. 3.10. Air temperature influence on average vehicle capacity

Gautas $T_{(c)}$ poveikis u_{vid} įrodo, kad didžiausią įtaką transporto eismo intensyvumo ir srautų rodikliams daro $T_{(c)}$, nes $u_{vid(>10bek)} = 109,4$ m, $u_{vid(>10)} = 108,4$ m (-1%), $u_{vid(10-1)} = 182,8$ m (atsilikimas padidėja 67%), $u_{vid(-20-0)} = 193,7$ m (atsilikimas padidėja 77%), o rodiklis $u_{vid(<-20)} = 262,15$ (atsilikimas padidėja 140%) įrodo, kad esant nepalankiai oro temperatūrai mažėja transporto srautai briaunose (3.11 pav.).

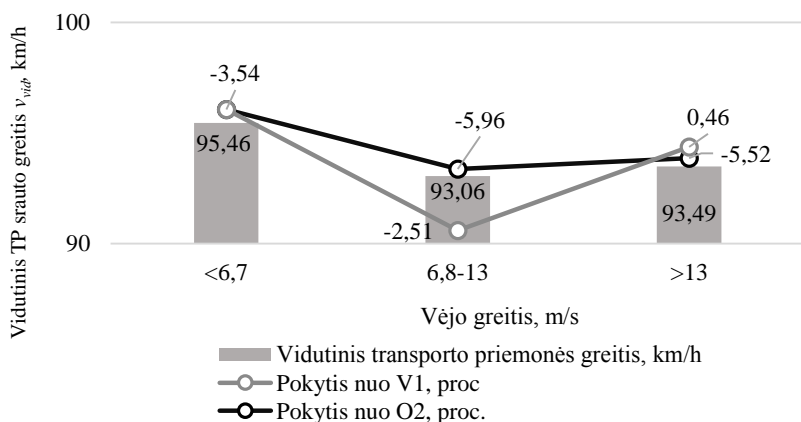


3.11 pav. Oro temperatūros įtaka transporto priemonių atsilikimui, metrais (sudaryta autorės)

Fig. 3.11. Air temperature influence on vehicles free-flow, meters

Susiejant šiuos duomenis su I_{aut} ir I_{krov} , galima daryti išvadą, kad krintant oro temperatūrai mažėja visų transporto priemonių skaičius kelyje, išskyrus I_{krov} . Tai rodo, kad krovininės transporto priemonės išlaiko pastovumą tiek esant skirtingam kritulių intensyvumui, tiek temperatūrų pokyčiui.

Tiriant vėjo greičio įtaką eismo intensyvumo ir srautų rodikliams, kai $v_{vid}(<6,7) = 95,5$ km/h, $v_{vid}(6,8-13) = 93,1$ km/h, o $v_{vid}(>13) = 93,5$ km/h, rodikliai neturi didelės įtakos v_{vid} , vertinant priklausomybę nuo $V_{(p)}$ (3.12 pav.).

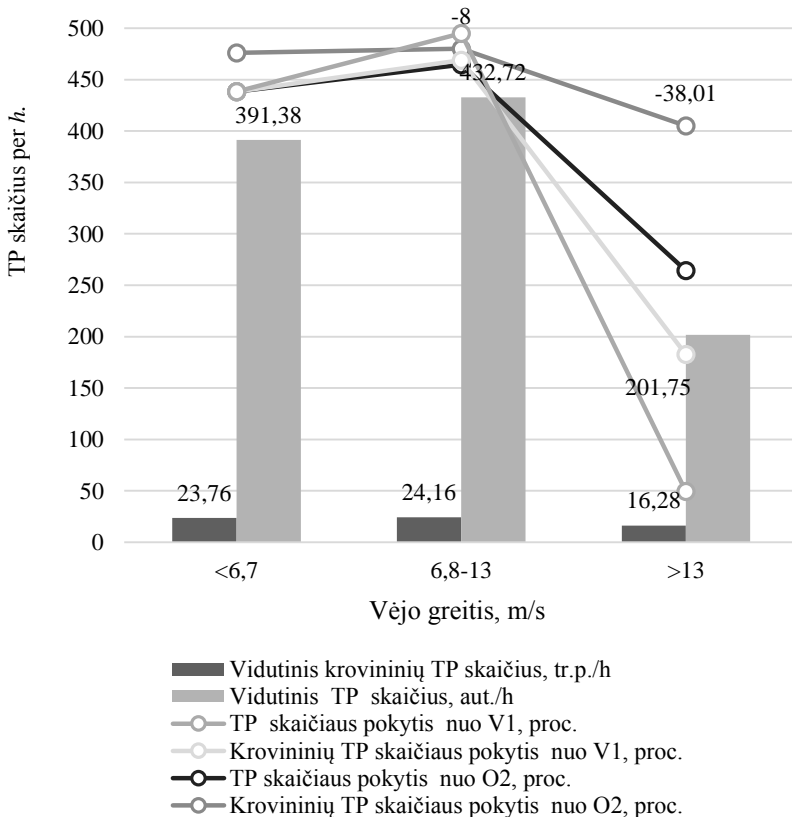


3.12 pav. Vėjo greičio įtaka vidutiniam greičiui (sudaryta autorės)

Fig. 3.12. Wind Speed influence on the average speed

Tačiau I_{aut} ir I_{krov} rodikliai akivaizdžiai parodė transporto priemonių srautų kaitą, kur $I_{aut(<6,7)} = 391$ transp.pr./h, $I_{aut(6,8-13)} = 433$ (10,6 %), o esant vėjui, stipresniam nei 13 m/s, $I_{aut(>13)} = 202$ (pokytis $-56,25$ %) (3.13 pav.).

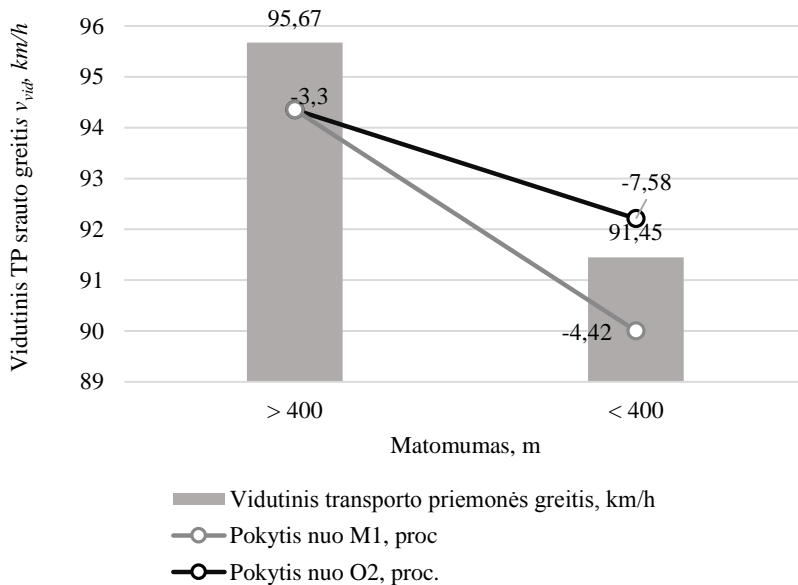
Panaši tendencija išlieka ir dėl I_{krov} rodiklių, kur $I_{krov(<6,7)} = 23,7$ krov.tr.pr./h, $I_{krov(6,8-13)} = 24$ krov.tr.pr./h (padidėja 8 %). Tačiau vėjui sustiprėjus daugiau nei 13 m/s, $I_{krov(>13)} = 16$ krov.tr.pr./h ir krovinių transporto priemonių skaičius sumažėja iki 32,6 %, nes, stiprėjant vėjui, žiemos metu atsiranda sniego, šlapdribos, pustymo tikimybė, o kitų sezonų metu – lietaus su vėju ir šoninio ar priešpriešinio vėjo, kurie apsunkina transporto priemonių važiavimą, atsižvelgiant į jų stiprumą. Šios tendencijos taip pat turi įtakos ir u_{vid} , čia $u_{vid(<6,7)} = 163,9$ m, $u_{vid(6,8-13)} = 116,5$ m (atsilikimas sumažėja 29 %), o $u_{vid(>13)} = 217$ m (atsilikimas padidėja 86,2 %).



3.13 pav. Vėjo greičio įtaka transporto priemonių skaičiui (sudaryta autorės)

Fig. 3.13. Wind speed influence on average vehicle capacity

Tyrimo metu, nustatant matomumo įtaką eismo intensyvumo rodikliams $M_{(f)}$, buvo atsižvelgta į galimas f ribas, kai $f > 0,4$ km ir $f < 0,4$ km. Gauti v_{vid} tarp V_i ir V_j transporto priemonių intensyvumo ir vidutiniai transporto priemonių atsilikimo rodikliai. Vidurinis greitis $v_{vid(>0,4)} = 95,7$ km/h, o $v_{vid(<0,4)} = 91,5$ km/h ir pokytis sudarė tik -4% . Tai nurodo, kad matomumo būklė $v_{vid(f)}$ turi įtakos (3.14 pav.).

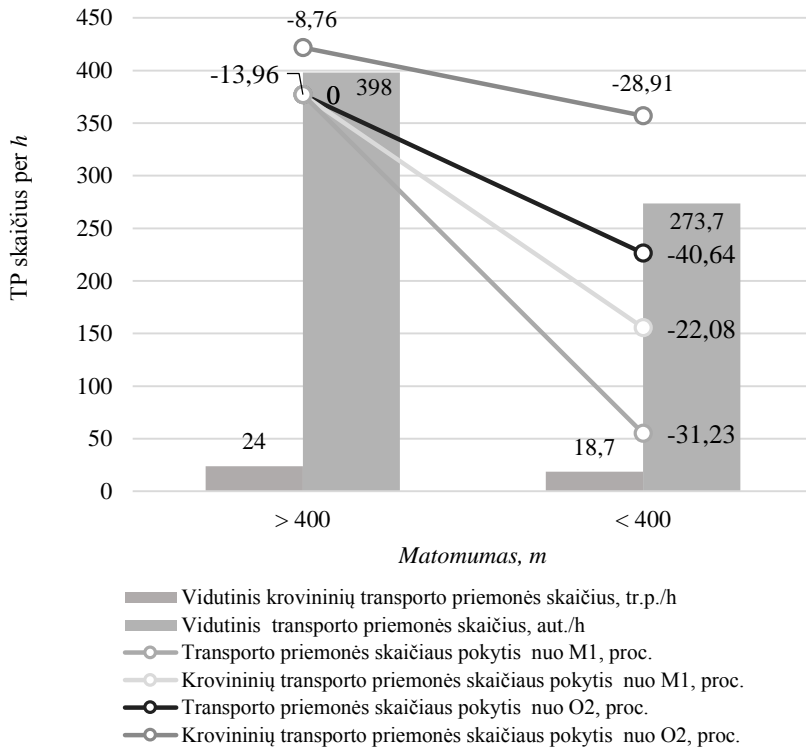


3.14 pav. Matomumo įtaka vidutiniam greičiui (sudaryta autorės)
Fig. 3.14. Visibility influence on average speed

Tačiau $M_{(o)}$ poveikis I_{aut} ir I_{krov} rodikliams akivaizdus, nes $I_{aut(>0,4)} = 398$ transp.pr./h, o esant mažesniai nei 0,4 km matomumui $I_{aut(<0,4)}$ sumažėja iki 274 transp.pr./h (pokytis $-31,2\%$), taip pat $I_{krov(>0,4)} = 24$ krov.tr.pr./h, $I_{krov(<0,4)} = 18,7$ krov.tr.pr./h, o tai yra net 22% mažiau, nei esant didesniai nei 0,4 km matomumui (3.15 pav.).

Dėl šių priežasčių matomas poveikis ir u_{vid} , čia $u_{vid(>0,4)} = 152,33$ m, o esant mažesniai nei 0,4 km matomumui $u_{vid(<0,4)} = 253,81$ m (pokytis padidėja iki $66,6\%$). Tai rodo, kad esant blogam matomumui u_{vid} didėja bei sumažėja I_{aut} ir I_{krov} .

Vienas iš optimalaus maršruto nustatymo rodiklių yra $v_{vid\ ij}$, kuris, atsižvelgiant į kelių oro sąlygų kaitą, gali pasikeisti t_{ij} .



3.15 pav. Matomumo įtaka transporto priemonių skaičiui (sudaryta autorės)

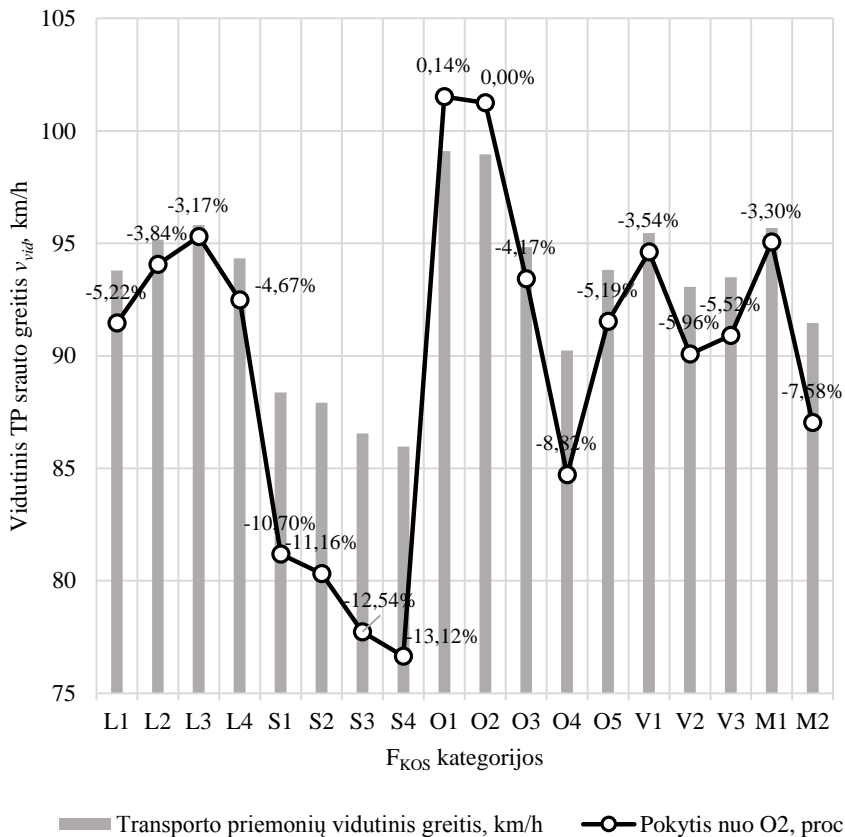
Fig. 3.15. Visibility influence on number of vehicles

Remiantis atliktu tyrimu, v_{vid} didžiausią poveikį sukelia $I_{S(z)}$, kai $z < 1,2$, tai $v_{vid(>1,2)} = 86$ km/h, kuris nuo pasirinkto bazinio $T_{(>10bek)}$ rodiklio $v_{vid(>10bek)} = 99$ km/h sumažėja 13 %. Taip pat pastebimas didelis poveikis nukritus oro temperatūrai nuo 0 iki -20 °C, kai v_{vid} sumažėja 8,9 %. Lyginant $v_{vid(>1,2)}$ su $v_{vid(>10bek)}$, matomas akivaizdus greičio kritimas net 13 % (3.16 pav.).

Tyrimo metu gauti rezultatai įrodo eismo intensyvumo ir transporto priemonių greičio priklausomybę nuo kelių oro sąlygų. Galima išskirti, kad bendram transporto priemonių skaičiui kelyje įtaką daro $V_{(>13)}$, $M_{(<0,4)}$ ir $T_{(>-20)}$.

Esant $V_{(>13)}$ vėjo stiprumui, $I_{aut(>13)} = 201,75$ transp.pr./h (pokytis nuo bazinio $T_{(>10bek)}$ rodiklio $I_{aut(>10bek)}$ yra $-56,25$ %), o $I_{krov(>13)} = 16$ transp.pr./h (pokytis nuo bazinio $T_{(>10bek)}$ rodiklio $I_{krov(>10bek)}$ yra -38 %).

Tiriant įvairiarūšių transporto srautus, išryškinta informacijos realiuoju laiku svarba, nes ji leidžia numatyti eismo sąlygas, priklausomai nuo kelių oro sąlygų pateikiamų duomenų ir eismo intensyvumo rodiklių.



3.16 pav. Vidutinis transporto priemonių greitis pagal visas kritulių kategorijas (sudaryta autorės)

Fig. 3.16. The average speed of vehicles under weather categories (prepared by the author)

Vertinant u_{vid} , tyrime išvelgiamas didžiausias intensyvumo mažėjimas, kai $I_{L(0,1-0,2)}$, dėl to padidėja I_{aut} ir I_{krov} rodikliai, tačiau sumažėja v_{vid} . Didžiausias poveikis u_{vid} padėjimui gaunamas, kai $T_{(>-20)}$, tuomet u_{vid} padidėja 140 % nuo bazinio $T_{(>10 \text{ bek})}$. Gauta išvada, kad taip susidaro dėl sumažėjusių I_{aut} ir I_{krov} rodiklių, nes v_{vid} pokytis yra tik -5,2 %, palankiomis kelių oro I_{aut} ir I_{krov} keliuose padidėja.

Tik į viršūnių ir briaunų charakteristikų duomenų bazę, sudarytą optimaliam maršrutui apskaičiuoti, įtraukus tikslus v_{vid} duomenis, galima nustatyti optimalų ŽTK maršrutą realiuoju laiku tarp pasirinktų viršūnių. Taip bus išvengta gaišties dėl nenumatytų kliūčių maršrute.

3.2. Dinaminio programavimo uždavinio sprendimas programavimo kalbos kodu, nustatant optimalų maršrutą, rezultatai

Užduoties sprendimo tikslas – optimalaus nepertraukiamo maršruto nustatymas pagal konkrečius trumpiausio atstumo, trukmės ir mažiausio emisijos kiekio optimalumo kriterijus nuo pradinio iki galutinio taško. Visos pateiktos racionalaus maršruto modeliavimo užduotys turi šias funkcijas:

- Lietuvos ŽTK buvo nustatytos $V = 165$ (viršūnės) ir $A = 488$ (briaunos) ir jose veikia p_1 ir p_2 ;
- maršruto briaunos svoris s_{ij} priklausomai nuo optimizuojamo kriterijaus, yra atstumas L_{ij} , trukmė t_{ij} , CO₂ emisijos kiekis E_{ij} ;
- žinant svorius tarp viršūnių galima rasti optimalų maršrutą tarp pradžios taško i ir pabaigos taško j .

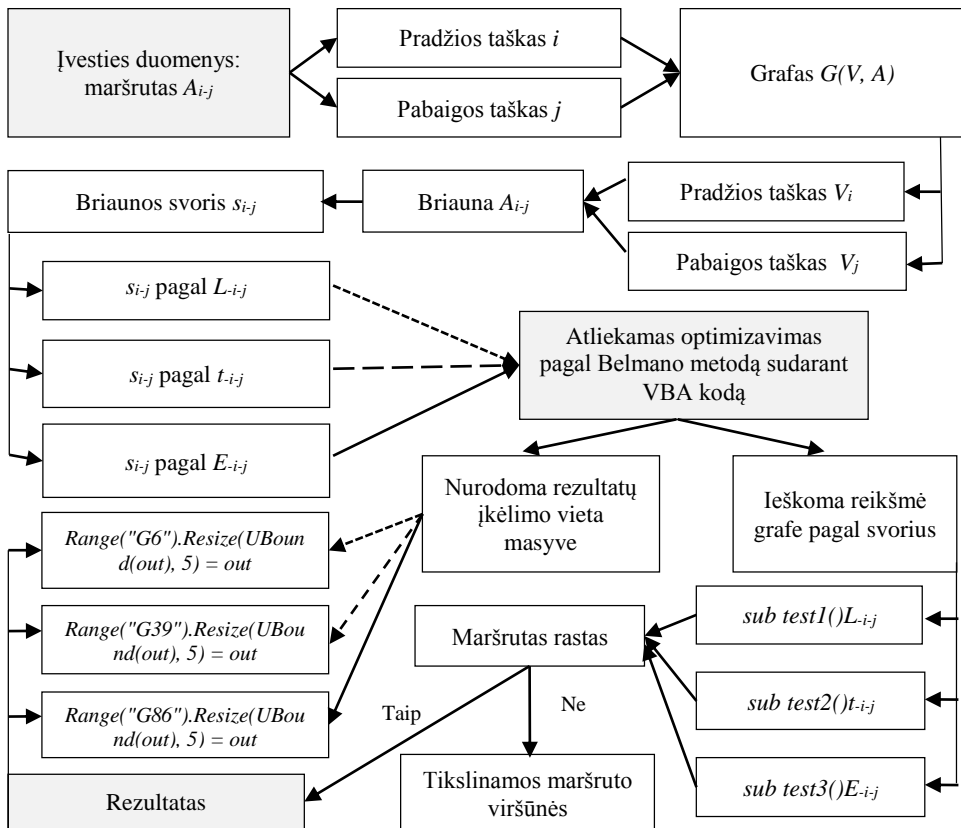
Taikant Belmano dinaminio programavimo metodą, optimalus maršrutas nustatomas atsižvelgiant į s_{ij} . Svoris yra skaitinė vertė, kuri charakterizuojama maršrutų duomenų bazėje (duomenų bazės ištrauka pateikta 3.2 lentelėje). Kai s_{ij} yra briaunos ilgis, tai ja siekiama nustatyti trumpiausią maršrutą, kai s_{ij} yra trukmė, per kurią įveikiama briauna, tai sprendimu siekiama nustatyti greičiausią maršrutą pagal trukmę, o kai s_{ij} išreiškiama emisijos kiekiu, tai siekiama nustatyti mažiausią neigiamą poveikį aplinkai turintį maršrutą. Autorės sudarytų ŽTK maršrutų duomenys (3.2 lentelė) suskirstyti pagal galimas viršūnių jungtis (su pradžios ir pabaigos viršūnėmis), taip sudarant briaunų sekas atsižvelgiant į pasirinkto maršruto ŽTK. Siekiant nustatyti optimalų maršrutą tarp dviejų konkrečių viršūnių ITT tinkle, s_{ij} reikšmės priskiriamos kiekvienai briaunai.

3.2 lentelė. Lietuvos žaliuojo transporto koridoriaus viršūnių ir briaunų duomenų ištrauka
Table 3.2. Green transport corridor in Lithuania data table of vertexes and edges

A_{ij}	V_i	V_j	L_{ij} , km	t_{ij} , h	v_{ij} , km/h	E_{ij} , t/TEUkm	$p \in P$ tarp $(i, j) \in A$ $\{i(p), j(p)\}$
$A_{1,2}$	1	2	5,259	0:04	76,9	0,003	p_2
$A_{2,1}$	2	1	5,259	0:04	76,9	0,003	p_2
$A_{2,5}$	2	5	28,74	0:23	73,2	0,016	p_2
.
.
.
$A_{6,151}$	6	151	177,5	6:21	27,9	0,03	p_1
A_{6-152}	6	152	377,5	10:49	34,9	0,063	p_1

Sudarytas optimalaus sprendimo modelis su VBA programavimo kalbos kodu pritaikytas ŽTK maršrutams Lietuvoje. Skaičiuojamas optimalus maršrutas tarp taško V_i ir taško V_j pagal optimalaus maršruto kriterijus (trupiausia atstumą L_{ij} , mažiausią trukmę t_{ij} ir mažiausią CO_2 emisijos kiekį E_{ij}). Pirmame etape pasirenkamos briaunos viršūnės, tarp kurių viršūnių norima rasti optimalų maršrutą. Antrame etape pagal sukurtą VBA kodą (optimalaus maršruto VBA kodo procesas pateiktas 3.17 pav.) apskaičiuojamas optimalus maršrutas pagal trupiausia L_{ij} , trupiausia t_{ij} ir mažiausio E_{ij} kriterijus, maršrute A_{i-j} .

Nustatytas maršrutas iš taško L_{i-j} į tašką $G(V, A)$ atsižvelgiant į A_{i-j} pagal optimalumo kriterijus. Nustatytas maršrutas pagal S_{i-j} svorius, kai S_{i-j} yra atstumas ir trukmė, pateiktas 3.3 lentelėje.



3.17 pav. Optimalaus maršruto VBA kodo procesas pagal priedą C (sudaryta autorės)
Fig. 3.17. Optimal routing process using VBA code according to Annex C (preparer by the author)

Atlikus maršrutų A_{1-152} , $A_{159-151}$ ir $A_{165-156}$ skaičiavimus, $\min L_{ij}$, $\min t_{ij}$ ir E_{ij} rezultatai pateikiami 3.17 pav. Optimalių maršrutų rezultatų suvestinė pagal tris kriterijus pateikiama 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Briaunų A_{1-152} , $A_{159-151}$ ir $A_{165-156}$ pagal $\min L_{ij}$, $\min t_{ij}$ ir E_{ij} optimalaus maršruto rezultatai pagal Belmano ir Fordo modelį

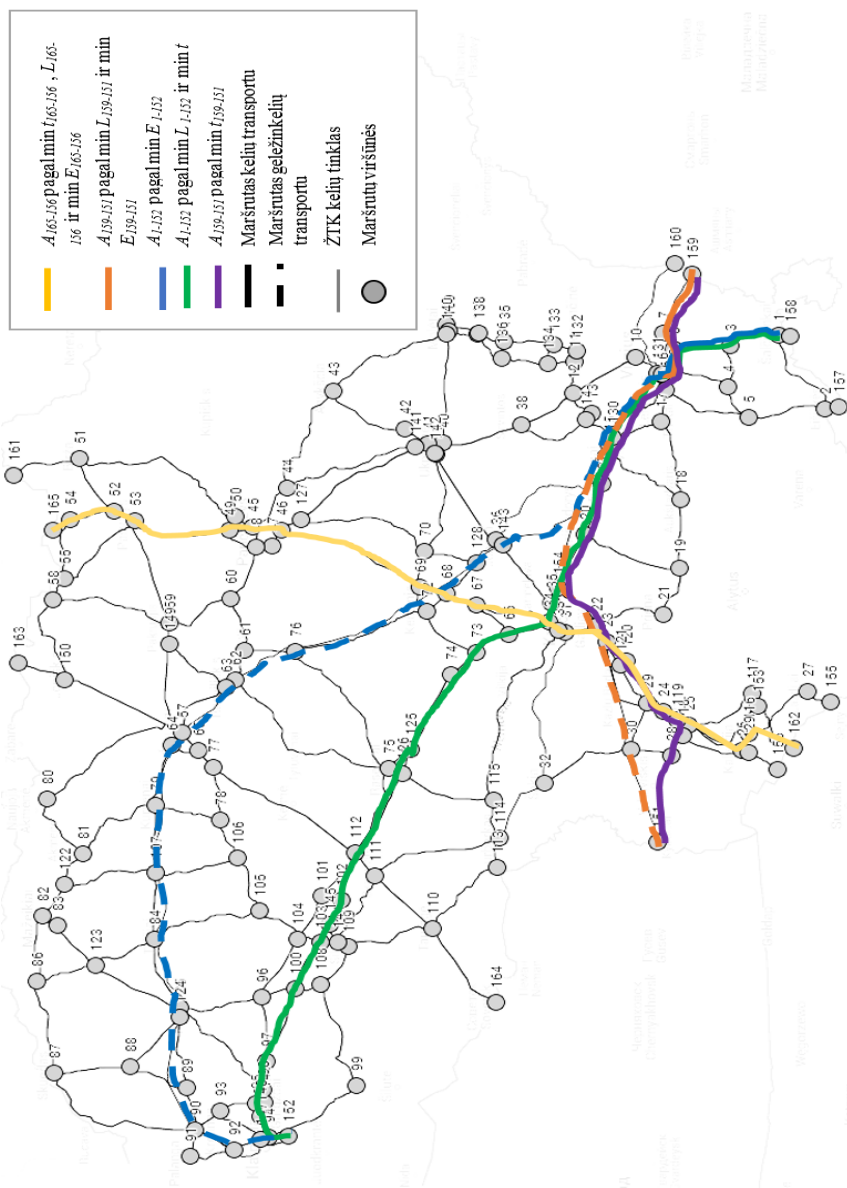
Table 3.3. Optimal route of Edges A_{1-152} , $A_{159-151}$ and $A_{165-156}$ results using Bellman – Ford model by $\min L_{ij}$, $\min t_{ij}$ and $\min E_{ij}$

Optimalus sprendimas	Maršruto grandinės briaunų seka		Atstumas L , km	Trukmė t , h	Emisijos kiekis E , t	Transporto rūšis p
	viršūnė i	viršūnė j				
Pagal $\min L_{1-152}$ ir $\min t_{1-152}$	1	152	351,2	3 val. 52 min	0,202	Kelių transportas
Pagal $\min E_{1-152}$	1	152	429,2	14 val. 18 min	0,093	Kelių ir geležinkelių transportas
Pagal $\min L_{159-151}$ ir $\min E_{159-151}$	159	151	224,7	5 val. 47 min	0,057	Kelių ir geležinkelių transportas
Pagal $\min t_{159-151}$	159	151	242,2	3 val. 5 min	0,14	Kelių transportas
Pagal $\min L_{165-156}$ ir $\min E_{165-156}$	165	156	262,6	3 val. 15 min	0,151	Kelių transportas
Pagal $\min t_{165-156}$	165	156	267,6	3 val. 12 min	0,154	Kelių transportas

$A_{159-151}$ maršrutas (3.18 pav.) pagal $\min L_{159-151}$ ir $\min E_{159-151}$ kriterijus atliekamas kelių ir geležinkelių transportu. Jo trukmė sudaro 5 val. 45 min., o pagal $\min t_{159-151}$ trunka 3 val. 5 min. Maršruto trukmės skirtumas tarp šių rezultatų nėra didelis, tačiau emisijos kiekis, vežant pagal $\min L_{159-151}$ ir $\min E_{159-151}$ kriterijus, yra 0,05692 t, o pagal $\min t_{159-151}$ sudaro 0,1390 t, o tai yra net 56 % daugiau.

Maršrutą $A_{165-156}$ pietų–šiaurės kryptimi (3.18 pav.) Lietuvoje pagal optimalius kriterijus atlieka tik kelių transportas, todėl gauti rezultatai pagal $\min L_{165-156}$ ir $\min t_{165-156}$ yra identiški, tačiau pagal $t_{165-156}$ gauta maršruto trukmė yra trumpesnė 3 minutėmis.

Pagal sudarytą optimalaus maršruto sprendimą VBA programavimo kalbos kodui (VBA kodo sprendimo procesas pateiktas 3.17 pav.) gauti optimalių maršrutų A_{1-152} , $A_{159-151}$ ir $A_{165-156}$ rezultatai, pagal $\min L_{ij}$, $\min t_{ij}$ ir E_{ij} kriterijus, leidžia greitai gauti rezultatus ir palyginti galimus maršrutus, taip pasirenkant tinkamiausią įvairiarūšiams kroviniams vežti.



3.18 pav. Briauņų A_{1-152} , $A_{159-151}$ ir $A_{165-156}$ pagal $\min L_{ij}$, $\min t_{ij}$ ir E_{ij} optimalaus maršruto rezultatai (sudaryta autorės)
Fig. 3.18. Optimal route of Edges A_{1-152} , $A_{159-151}$ and $A_{165-156}$ by $\min L_{ij}$, $\min t_{ij}$ and $\min E_{ij}$ (prepared by the author)

Pagal gautus ŽTK trijų krypčių optimalių maršrutų rezultatus didžiausias skirtumas tarp maršruto trukmės t_{ij} ir E_{ij} emisijos kiekio gautas A_{1-152} , kuris yra viena iš pagrindinių krypčių Lietuvoje vežant įvairiarūšius krovinius, nes vykdomas įvairiarūšių krovinių atvežimas ir išvežimas iš Klaipėdos jūrų uosto terminalų, kurių krova kiekvienais metais vis didėja. Todėl tikslinga palyginti A_{1-152} maršruto rezultatus su kitomis maršrutų planavimo internetinėmis (visiems naudotojams pasiekiamomis) programomis (3.4 lentelė) bei toliau tirti oro sąlygų priklausomybę A_{1-152} maršrute.

3.4 lentelė. Transporto maršrutų planavimo internetinių sistemų Europoje duomenų palyginimas (sudaryta autorės)

Table 3.4. Internet based transport route planning systems in Europe comparison

Maršruto planavimo sistemos pavadinimas	Pasirenkami kriterijai	L_{1-152}	t_{1-152}	E_{1-152}, t	Transporto rūšys, atliekančios vežimą	Pastabos
Autorės sudarytas optimalaus maršruto modelis	Pagal min L_{1-152} ir min t_{1-152}	351,21	3 val. 52 min	0,202	Kelių transportas	
	Pagal min E_{1-152}	429,18	14 val. 18 min	0,093	Kelių ir geležinkelių transportas	
EcoTransIT	Vežimas kelių transportu	354,37 km	-	0,24	Kelių transportas	Reikalauja daugiau įvesties duomenų
	Vežimas geležinkelių transportu	417,44 km	-	0,11	Geležinkelių transportas	Reikalauja daugiau įvesties duomenų
Intermodal route planner		354 km	5 val. 09 min	-	Kelių transportas	Maršrutas generuojamas su trajektoriniu netikslumu
maps.google.com	Vežimas kelių transportu	353 km	3 val. 58 min	-	Kelių transportas	Sudaromas lengvosios transporto priemonės maršrutas
	Vežimas geležinkelių transportu	—	17 val. 49 min	-	Geležinkelių transportas	Sudaromas keleivinio transporto maršrutas
Eismoinfo.lt	Greičiausias maršrutas	Platforma negalėjo pateikti duomenų, nes jų generavimas truko daugiau nei 10 min			Kelių transportas	Tik kelių transportas
	Trumpiausias maršrutas	Platforma negalėjo pateikti duomenų, nes jų generavimas truko daugiau nei 10 min			Kelių transportas	Tik kelių transportas
truckinfo.ch	—	Nepalaiko Lietuvos ITT funkcijos				

Kaip buvo minėta, egzistuoja ir kitos įvairiarūšio transporto maršrutų planavimo internetinės sistemos Europoje (*EcoTransIT*, *Intermodal route planner*, *truckinfo.ch*), tačiau jos reikalauja daugiau įvesties duomenų arba nėra pritaikytos Lietuvos teritorijai. Taip pat į rezultatų 3.4 lentelę palyginimui įtraukiama Lietuvoje veikianti platforma *eismoinfo.lt* ir *maps.google.com*.

3.5 lentelė. A_{1-152} briaunos vidutinio transporto priemonių srauto greitis pagal kelių oro sąlygas metų laikais (sudaryta autorės)

Table 3.5. Average traffic speed of edge A_{1-152} in different year seasons

A_{1-152} maršruto briaunos	Duomenys		
	Data	Kelių oro sąlygos	Vidutinis TPS greitis, km/h
A_{94-148}	bazinis		$v_{94-148} = 84,0$
	2013-07-27 13:20	$T_{94-148} = 25,1^{\circ}\text{C}$	$v_{94-148} = 83,04$
	2013-01-30 13:50	$T_{94-148} = 8,8^{\circ}\text{C}$; $V_{94-148} = 4,2 \text{ m/s}$; $I_{ISJ} = 0,2 \text{ mm/h}$	$v_{94-148} = 81,8$
	2013-02-03 23:20	$T_{94-148} = -18^{\circ}\text{C}$; $V_{94-148} = 5,5 \text{ m/s}$; $I_{ISJ} = 1,3 \text{ mm/h}$	$v_{94-148} = 63,62$
$A_{102-112}$	bazinis		$v_{102-112} = 104,5$
	2013-07-27 13:20	$T_{102-112} = 26,8^{\circ}\text{C}$	$v_{102-112} = 111,47$
	2013-01-30 13:50	$T_{102-112} = -12,4^{\circ}\text{C}$; $V_{102-112} = -2,9 \text{ m/s}$;	$v_{102-112} = 100,1$
	2013-02-03 23:20	$T_{102-112} = -22,5^{\circ}\text{C}$; $V_{102-112} = -3,2 \text{ m/s}$;	$v_{102-112} = 90,78$
$A_{125-126}$	bazinis		$v_{125-126} = 110,1$
	2013-07-27 13:20	$T_{125-126} = 21,7^{\circ}\text{C}$; $I_{ILJ} = 0,31 \text{ mm/h}$; $V_{125-126} = 0,8 \text{ m/s}$	$v_{125-126} = 112,92$
	2013-01-30 13:50	$T_{125-126} = -11,9^{\circ}\text{C}$; $V_{125-126} = 1,7 \text{ m/s}$	$v_{125-126} = 103,2$
	2013-02-03 23:20	$T_{125-126} = -22,3^{\circ}\text{C}$; $V_{125-126} = 4,6 \text{ m/s}$	$v_{125-126} = 94,26$
A_{73-66}	bazinis		$v_{73-66} = 109,6$
	201 -07- 27 13:20	$T_{73-66} = 25,5^{\circ}\text{C}$; $V_{73-66} = 2,2 \text{ m/s}$	$v_{73-66} = 112,45$
	2013-01-30 13:50	$T_{73-66} = -12,2^{\circ}\text{C}$; $V_{73-66} = 2 \text{ m/s}$	$v_{73-66} = 104,2$
	2013-02-03 23:20	$T_{73-66} = -24,6^{\circ}\text{C}$; $V_{73-66} = 2,7 \text{ m/s}$	$v_{73-66} = 100,7$
A_{74-125}	bazinis		$v_{74-125} = 112,5$
	2013-07-27 13:20	$T_{74-125} = 28,2^{\circ}\text{C}$; $V_{74-125} = 1,4 \text{ m/s}$	$v_{74-125} = 114,3$
	2013-01-30 13:50	$T_{74-125} = -12,2^{\circ}\text{C}$; $I_{ISJ} = 0,02 \text{ mm/h}$; $V_{74-125} = 2,6 \text{ m/s}$	$v_{74-125} = 100,8$
	2013-02-03 23:20	$T_{74-125} = -20,8^{\circ}\text{C}$; $V_{74-125} = 4,3 \text{ m/s}$	$v_{74-125} = 77,7$
A_{34-35}	bazinis		$v_{74-125} = 103,1$
	2013-07-27 13:20	$T_{34-35} = 26,4^{\circ}\text{C}$; $V_{34-35} = 2,6 \text{ m/s}$	$v_{74-125} = 85,9$
	2013-01-30 13:50	$T_{34-35} = -12,1^{\circ}\text{C}$; $V_{34-35} = 2,9 \text{ m/s}$	$v_{74-125} = 103,1$
	2013-02-03 23:20	$T_{34-35} = -20,8^{\circ}\text{C}$; $V_{34-35} = 4,3 \text{ m/s}$	$v_{74-125} = 77,72$
$A_{130-131}$	bazinis		$v_{130-131} = 80,3$
	2013-07-27 13:20	$T_{130-131} = 27,6^{\circ}\text{C}$; $V_{130-131} = 1,6 \text{ m/s}$	$v_{130-131} = 79,66$
	2013-01-30 13:50	$T_{130-131} = -10,9^{\circ}\text{C}$; $I_{ISJ} = 0,12 \text{ mm/h}$; $V_{130-131} = 1,7 \text{ m/s}$	$v_{130-131} = 75,16$
	2013-02-03 23:20	$T_{130-131} = -23,5^{\circ}\text{C}$; $V_{130-131} = 1,1 \text{ m/s}$	$v_{130-131} = 77,98$
A_{20-37}	bazinis		$v_{20-37} = 101,24$
	2013-07-27 13:20	$T_{20-37} = 23,5^{\circ}\text{C}$;	$v_{20-37} = 99,22$
	2013-01-30 13:50	$T_{20-37} = -8,6^{\circ}\text{C}$; $V_{20-37} = 1,1 \text{ m/s}$	$v_{20-37} = 102,4$
	2013-02-03 23:20	$T_{20-37} = -23,5^{\circ}\text{C}$; $V_{20-37} = 3,2 \text{ m/s}$	$v_{20-37} = 96,2$

3.4 lentelėje pasirinktas įvairiarūšis maršrutas iš taško V_1 į tašką V_{152} (pagal autorės sudaryto ŽTK žemėlapiu duomenis, kurie atitinkamai įvardyti kiekvienoje internetinėje maršrutų planavimo sistemoje).

Atliekant optimalaus maršruto nustatymą A_{1-152} briaunoje pagal kelių oro sąlygų ir eismo intensyvumo DB duomenis, atsižvelgiant į metų laikus, buvo nustatyti baziniai optimalaus maršruto sprendimo modelio duomenys, kuriame pateikiamas vidutinis TPS greitis briaunose pagal kelių oro sąlygų ir eismo intensyvumo sudarytą DB (3.5 lentelė). Šis bazinis rodiklis, kuris gaunamas kaip vidutinis TPS greitis per visą tyrimo laikotarpį (t. y. nuo 2012 m. sausio 1 d. iki 2014 m. kovo 1 d.), skirtas palyginti su gaunamais optimalaus A_{1-152} maršruto rezultatais priklausomai nuo metų laiko, kai atliekamas įvairiarūšio krovinio vežimas.

3.5 lentelėje pateikiama A_{1-152} maršruto briaunų seka su vidutinio TPS greičio ir kelių oro sąlygomis, pagal skirtingų metų laikų datas, duomenys. Šie duomenys naudojami optimaliam maršrutui A_{1-152} palyginti priklausomai nuo pasikeitusių metų laikų. Šių palyginimų rezultatai pateikiami 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė. Optimalaus A_{1-152} maršruto sprendimo rezultatų suvestinė (sudaryta autorės)
Table 3.6. Results of optimal route A_{1-152}

A_{1-152} maršruto rezultatai pagal optimalaus maršruto modelį	Atstumas L_{ij} , km	Trukmė t_{ij} , h	Emisijos kiekis E_{ij} , t
Bazinis			
Pagal min L_{1-152}	351,2	3 val. 52 min	0,2
Pagal min t_{1-152}	351,2	3 val. 52 min	0,2
Pagal min E_{1-152}	429,2	14 val. 18 min	0,09
Data: 2013-07-27 13:20			
Pagal min L_{1-152}	351,2	3 val. 52 min	0,2
Pagal min t_{1-152}	351,2	3 val. 52 min	0,2
Pagal min E_{1-152}	429,2	14 val. 18 min	0,09
Data: 2013-01-30 13:50			
Pagal min L_{1-152}	351,2	3 val. 56 min	0,2
Pagal min t_{1-152}	351,2	3 val. 56 min	0,2
Pagal min E_{1-152}	429,2	14 val. 18 min	0,09
Data: 2013-02-03 23:20			
Pagal min L_{1-152}	351,2	4 val. 22 min	0,2
Pagal min t_{1-152}	351,2	4 val. 22 min	0,2
Pagal min E_{1-152}	429,2	14 val. 21 min	0,09

Pagal optimalaus maršruto A_{1-152} gautus rezultatus (3.6 lentelė) didžiausias kelių oro sąlygų poveikis vidutiniam TPS greičiui kyla žiemos laikotarpiu dėl žemos oro temperatūros ir kritulių (3.5 lentelė). Vasaros laikotarpio, esant aukštai oro temperatūrai, toks didelis poveikis nepastebimas ir gauti optimalaus maršruto rezultatai nesiskiria nuo bazinių rodiklių, nes vidutinio TPS greičio pokytis yra nežymus.

Atliktų skaitinių eksperimentų rezultatai parodė, kad hipotetinis optimalaus įvairiarūšių krovinių maršruto modelis, kuriame yra ITS įrangos teikiamų duomenų sąsaja, yra veikiantis ir gebantis pateikti rezultatus.

Taikant optimalaus maršruto nustatymo modelio algoritmą ir atliekant skaičiavimus, rezultatai gaunami greitai ir yra tikslūs.

Atnaujinant optimalaus maršruto duomenų bazės informaciją, priklausomai nuo kelių oro sąlygų ir eismo intensyvumo duomenų kaitos, galima palyginti gautus optimalaus maršruto duomenys skirtingomis kelių oro sąlygomis.

Sprendžiant įvairiarūšio maršruto optimizavimo užduotis, buvo įrodyta kelių oro sąlygų ir maršruto trukmės, atstumo ir emisijos kiekio priklausomybė.

3.3. Trečiojo skyriaus išvados

1. Taikant dinaminio programavimo Belmano matematinį modelį, programavimo kalbos kodu pateikti optimalių maršrutų uždavinių sprendimo rezultatai. Taip patikrintas sukurto įvairiarūšių krovinių (IK) optimalaus maršruto žaliuoju transporto koridoriumi (ŽTK) modelio korektiškumas.
2. Įrodyta antrajame skyriuje iškelta teorinė vidutinio TPS greičio priklausomybė nuo kelių oro sąlygų. Atlikus tyrimus nustatyta, kad didžiausią poveikį vidutiniam TPS greičiui sukelia sniegas, kai jo kritulių intensyvumas didesnis nei 1,2 mm/h. Lyginant gautus rezultatus su baziniu vidutinio TPS greičio rodikliu (esant didesnei nei 10 °C temperatūrai, be kritulių), vidutinis TPS greitis sumažėja 13 %. Taip pat nustatytas žymus poveikis, kai oro temperatūra yra nuo 0 iki –20°C, tai vidutinis TPS greitis sumažėja 8,9 %. Esant blogam matomumui kelyje (matomumas mažesnis nei 400 m) greitis sumažėja – net 13 %.
3. Remiantis gautais optimalaus maršruto rezultatais, didžiausias oro sąlygų keliuose vidutiniam TPS greičiui poveikis gaunamas žiemos laikotarpiu dėl žemos oro temperatūros ir kritulių. Vasaros laikotarpiu, esant aukštai oro temperatūrai, toks didelis poveikis nepastebimas, nes vidutinio TPS greičio pokytis yra nežymus.

Bendrosios išvados

1. Atlikta mokslinės literatūros ir mokslinių darbų analizė parodė, kad dar vis stokojama mokslinių tyrimų, susijusių su įvairiarūšių krovinių vežimu žaliuoju transporto koridoriais, kuriais remiantis būtų galima didinti transporto priemonių krovinių srautų pralaidumą.
2. Sudarytas žaliuojo transporto koridoriaus topologinis žemėlapis iš sluoksnių, kurių sandara yra papildyta remiantis mokslinių šaltinių duomenimis ir autorės siūlymais. Naudojant įvairiarūšių krovinių optimalaus maršruto nustatymo metodą, galima sumažinti maršruto atstumą, trukmę ar emisijos kiekį priklausomai nuo įvairiarūšio krovinio vežimo išeities ir paskirties taško, pasirinktos transporto rūšies, numatyti gaisrų, sumažinti išskiriamą naudojamą transporto priemonės maršrute CO₂ emisijos kiekį.
3. Sudarytas intelektinių transporto sistemų įrenginių teikiamų duomenų sąsajos optimaliam maršrutui nustatyti modelis, kuriuo remiantis galima patikrinti ir rasti optimalų maršrutą pagal optimalius kriterijus.
4. Ištyrus kelių oro sąlygų įtaką buvo atliktas vidutinio transporto priemonių srauto greičio priklausomybės nuo kelių oro sąlygų tyrimas. Nustatyta, kad didžiausią poveikį vidutiniam transporto priemonių srauto greičiui turi sniegas, kai kritulių intensyvumas didesnis kaip 1,2 mm/h, bei oro temperatūrai nuo 0 iki -20 °C ir blogas matomumo sąlygos keliuose.

5. Tyrimo metu gauti vidutinio transporto priemonių srauto greičio, priklausomai nuo oro sąlygų keliuose, duomenys, žaliuojo transporto koridoriaus ir jo aplinkelių briaunose, panaudoti optimalaus įvairiarūšio maršruto modelyje. Modelyje taikomas Belmano dinaminio programavimo metodas, kuris sprendžiamas pagal sukurtą Visual Basic Application programavimo kalbos kodą. Taikant eksperimentinį tyrimo metodą patikrintas sukurto įvairiarūšių krovinių (IK) optimalaus maršruto modelio žaliuoju transporto koridoriumi (ŽTK) korektiškumas.

Literatūros sąrašas

- Abrahamsson, T. 1998. *Estimation of Origin–Destination Matrices Using Traffic Counts – A Literature Survey*, Interim Report IR–98–021 [interaktyvus], International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria [žiūrėta 2010 m. gruodžio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.195.8226>
- Agarwal, M.; Maze, T. H.; Souleyrette, R. 2005. The weather and its impact on urban freeway traffic operations, in *85th Transportation Research Board Annual Meeting* [interaktyvus] [žiūrėta 2011 m. sausio 9 d.]. Prieiga per internetą: https://wiki.cecs.pdx.edu/pub/ItsWeb/PortalWeather/Agarwal_06-1439.pdf
- Andersen, J.; Crainic, T. G.; Christiansen, M. 2009. Service network design with management and coordination of multiple fleets, *European Journal of Operational Research* 193: 377–389. doi:10.1016/j.ejor.2007.10.057
- Androutsopoulos, K. N.; Zografos, K. G. 2009. Solving the multicriteria time–dependent routing and scheduling problem in a multimodal fixed scheduled network, *European Journal of Operational Research* 192: 18–28. doi:10.1016/j.ejor.2007.09.004
- Andziulis, A.; Jakovlev, S.; Adomaitis, D.; Dzemydienė, D. 2012. Integration of mobile control systems into intermodal container transportation management, *Transport* 27(1): 40–48. doi:10.3846/16484142.2012.665206
- Armingol, J. M.; Escalera, A.; Hilario, C.; Collado, J. M.; Carrasco, J. P.; Flores, M. J.; Pastor, J. M.; Rodriguez, J. 2007. IVVI: Intelligent vehicle based on visual information, *Robotics and Autonomous Systems* 55: 904–916. doi:10.1016/j.robot.2007.09.004

Arnold, P.; Peeters, D.; Thomas, I. 2004. Modelling a rail/road intermodal transportation system, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 40(3): 255–270. doi:10.1016/j.tre.2003.08.005

Ballis, A.; Golias, J. 2004. Towards the improvement of a combined transport chain performance, *European Journal of Operational Research* 152(2): 420–436. doi:10.1016/S0377-2217(03)00034-1

Banks, J. H. 1998. *Introduction to Transportation Engineering*. Boston: McGraw Hill.

Banks, J. H. 2003. Average Time Gaps in Congested Freeway Flow, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 31(6): 539–554.

Banomyong, R.; Beresford, A. 2001. Multimodal transport: the case of Laotian garment exporters, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 31(9): 663–685. doi:10.1108/09600030110408161

Bartkevičius, S.; Bagdonas, V.; Juraška, M.; Šarkauskas, K. 2005. Train Traffic Simulation with Coloured Petri Nets and Schedule Optimisation, *Elektronika ir elektrotechnika* 3(59): 18–23.

Batarlienė, N. 2011. *Informacinės transporto sistemos*. Vilnius: Technika. 336 p. doi:10.3846/1217-S

Baublys, A. 2009. Modelling of freight flows in the regional trade network, *Computer Modelling and New Technologies* 13(3): 35–43. ISSN 1407-5806.

Baublys, A.; Griškevičienė, D.; Lazauskas, J.; Palšaitis, R. 2003. *Transporto ekonomika*. Vilnius: Technika. 480 p. ISBN 9986-05-649-7.

Baublys, A.; Vasilis Vasiliauskas, A. 2005. *Transporto infrastruktūra*. Vilnius: Technika. 468 p. ISBN 9986-05-842-2.

Bellman, R. E. 1958. Dynamic programming and stochastic control processes, *Information and Control* 1(3): 228–239. doi:10.1016/S0019-9958(58)80003-0

Bellman, R. E. 2003. *Dynamic Programming*, Introduction copyright 2003 by Eric V. Denardo, Dover Publications, Inc. 340 p. ISBN 0486428095.

Bertsekas, D. P. 2012. *Dynamic Programming and Optimal Control*, Volume II. Approximate Dynamic Programming, Vol. II, 4th edition, Athena Scientific, Belmont, Massachusetts. 712 p. ISBN 1-886529-44-2.

Beuthe, M.; Jourquin, B.; Geerts, J.-F.; Koul, C.; Ha, N. 2001. Freight transportation demand elasticities: a geographic multimodal transportation network analysis, *Transportation Research Part E* 37(4): 253–266. doi:10.1016/S1366-5545(00)00022-3

Bontekoning, Y.M.; Macharis, C.; Trip, J. J. 2004. Is a new applied transportation research field emerging? – A review of intermodal rail–truck freight transport literature, *Transportation Research Part A* 38: 1–34. doi:10.1016/j.tra.2003.06.001

Boschian, V.; Ukovich, W.; Dotoli, M.; Fanti, M. P.; Iacobellis, G. 2010. A metamodeling technique for managing Intermodal Transportation Networks, in *Proc. of the IEEE*

International Conference "Systems Man and Cybernetics (SMC), 2010": 10–13 Oct. 2010 Istanbul, Turkey, 209–214. doi:10.1109/ICSMC.2010. 5642236

Burgess, A. 2001. *The European transport model directory (MDir), description of modal split modeling in European transport models on the basis of Mdir*, THINK–UP Workshop 9, Rotterdam, Netherlands. 261 p.

Caramia, M.; Guerriero, F. 2009. A heuristic approach to long–haul freight transportation with multiple objective functions, *Omega* 37(3): 600–614. doi:10.1016/j.omega.2008.02.001

Caris, A.; Macharis, C.; Janssens, G. K. 2013. Decision support in intermodal transport: A new research agenda, *Computers in Industry* 64(2): 105–112. doi:10.1016/j.compind.2012.12.001

Caris, A.; Janssens, G. K.; Macharis, C. 2009. Modelling Complex Intermodal Freight Flows, *From System Complexity to Emergent Properties, Series: Understanding Complex Systems*. Ed. by M. Aziz-Alaoui, C. Bertelle. Berlin Heidelberg: Springer, 291–300. doi:10.1007/978-3-642-02199-2_14

Caris, A.; Janssens, G.; Macharis, C. 2007. A simulation approach to the analysis of intermodal freight transport networks, In *Proc. European Simulation and Modelling Conference "ESM'2007"*: October 22–24, 2007, St.Julian's, Malta. University of Malta: EUROSIS, 283–286. ISBN 978-90-77381-36-6.

Chang, E.; Ziliaskopoulos, A. 2007. A simulation–based dynamic intermodal network equilibrium algorithm, *Network Science, Nonlinear Science and Infrastructure Systems* 102: 201–222. doi:10.1007/0–387–71134–1_10

Chira-Chavala, T.; Yoo, M. 1994. Potential safety benefits of intelligent cruise control systems, *Accident Analysis and Prevention* 26(2): 135–146. doi:10.1016/0001-4575(94)90083-3

Clausen, I. U.; Geiger, C.; Behmer, C. 2012. Green corridors by means of ICT applications, *Procedia–Social and Behavioral Sciences* 48: 1877–1886. doi:10.1016/j.sbspro.2012.06.1162

COM(2001) 370 final. *European transport policy for 2020: time to decide. White Paper (Baltoji knyga)* [interaktyvus]. Brussels, 2001. 124 p. [žiūrėta 2011 m. kovo 19 d.]. Prieiga per internetą: http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/doc/2001_white_paper/lb_com_2001_0370_en.pdf

COM(2006) 314 final. *Keep Europe moving - Sustainable mobility for our continent Mid-term review of the European Commission's 2001 Transport White Paper* [interaktyvus]. Brussels, 2006, 29 p. [žiūrėta 2011 m. vasario 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0314:FIN:EN:PDF>

COM(2007) 161 final. Green paper. Commission of the European Communities, *Green Paper, The European Research Area: New Perspectives* [interaktyvus]. Brussels, 2007, 23 p. [žiūrėta 2011 m. gegužės 12 d.]. Prieiga per internetą: http://ec.europa.eu/research/era/pdf/era_gp_final_en.pdf

COM(2007) 606 final. *The EU's freight transport agenda: Boosting the efficiency, integration and sustainability of freight transport in Europe* [interaktyvus]. Brussels, 2007, 7 p. [žiūrėta 2011 m. vasario 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0606:FIN:EN:PDF>

COM(2008) 433 final. *Greening Transport* [interaktyvus]. Brussels, 2008, 10 p. [žiūrėta 2011 m. balandžio 8 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0433:FIN:EN:PDF>

COM(2009) 248 final. *EU Strategy for the Baltic Sea Region* (ES Baltijos jūros regiono strategijos veiksmų planas) [interaktyvus]. Brussels, 2009, 11 p. [žiūrėta 2011 m. rugsėjo 24 d.]. Prieiga per internetą: http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/official/communic/baltic/com_baltic_en.pdf

COM(2009) 279 final. *A sustainable future for transport: Towards an integrated, technology-led user friendly System* [interaktyvus]. Brussels, 2009, 18 p. [žiūrėta 2012 m. spalio 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0279:FIN:EN:PDF>

COM(2009) 44 final. Commission of the European Communities. *TEN-T: A policy review. Towards a better integrated transeuropean transport network at the service of the common transport policy* [interaktyvus]. Brussels, 2009, 18 p. [žiūrėta 2011 m. liepos 8 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0044:FIN:EN:PDF>

Cordeau, J.; Toth, P.; Vigo, D. 1998. A Survey of Optimization Models for Train Routing and Scheduling, *Transportation Science* 32(4): 380–404. doi:10.1287/trsc.32.4.380

Crainic, T. G. 2000. Service network design in freight transportation, *European Journal of Operational Research* 122(2): 272–288. doi:10.1016/S0377-2217(99)00233-7

Crainic, T. G. 2009. Innovations in Distribution Logistics. Service design models for rail intermodel transportation. *From Innovations in Distribution Logistics, Series: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Vol. 619. Ed. by L. Bertazzi, M. G. Speranza, van J. Nunen. Berlin Heidelberg: Springer, 53–67. doi:10.1007/978-3-540-92944-4_4

Crainic, T. G.; Kim, K. H.; 2007. *Intermodal transportation*, First edition. Ed. by C. Barnhart, G. Laporte. *Transportation*, volume 14, Handbooks in operations research and management science. Amsterdam: Elsevier, 467–537. doi:10.1016/S097-0507(06)14008-6

Crainic, T. G.; Florian, M.; Guelat, J.; Spiess, H. 1990. Strategic planning of freight transportation: STAN, an interactive-graphic system, *Transportation Research Record* 1283: 97–124.

Crainic, T. G.; Gendreau, M.; Potvin, J. 2009. Intelligent freight transportation systems: Assessment and the contribution of the operations research, *Transportation Research Part C, Emerging Technologies* 17(6): 541–557. doi:10.1016/j.trc.2008.07.002

D'Este, G. 2001. *Freight and logistics modeling*, Ed. by A. M. Brewer, K. Button, D.A. Hensher, Handbook of Logistics and Supply Chain Management. Oxford, UK: Elsevier Science Ltd., 545 p. ISBN 0080435939.

Dantzig, G. B. 1960. On the shortest route through a network, *Management Science* 6 (2): 187–190. doi:10.1287/mnsc.6.2.187

De Jong, G.; Gunn, H.; Walker, W. 2004. National and international freight transport models: an overview and ideas for future development, *Transport Reviews* 24(1): 103–124. doi:10.1080/0144164032000080494

DeWitt, W.; Clinger, J. 2000. Intermodal freight transportation, *Transportation in the New Millennium*, A1B05: Committee on Intermodal Freight Transport [interaktyvus]. Washington: Transportation Research Board [žiūrėta 2012 m. gruodžio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/millennium/00061.pdf>

Dijkstra, E.W. 1959. A note on two problems in connection with graphs, *Numerische Mathematik* 1(1): 269–271. doi:10.1007/BF01386390

Dotoli, M.; Fanti, M.P.; Mangini, A.M.; Stecco, G.; Ukovich, W. 2010. The impact of ICT on intermodal transportation systems: a modelling approach by Petri nets, *Control Engineering Practice* 18(8): 893–903. doi:10.1016/j.conengprac.2010.03.013

Dullaert, W.; Neutens, T.; Van den Berghe, G.; Vermeulen, T.; Vernimmen, B.; Witlox, F. 2009. MamMoeT: an intelligent agent-based communication support platform for multimodal transport, *Expert Systems with Applications* 36: 10280–10287. doi:10.1016/j.eswa.2009.01.049

EcoTransIT World tinklalapis. The calculation of energy consumption and emission data (Energijos vartojimo ir emisijos parametrų skaičiavimas) [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 m. gruodžio 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ecotransit.org/calculation.en.html>

EIA tinklalapis (U.S. Energy Information Administration). 2014. International Energy Statistics [interaktyvus]. [žiūrėta 2012 m. gruodžio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=90&pid=44&aid=8>

El-Faouzi, N. E.; Leung, H.; Kurian, A. 2011. Data fusion in intelligent transportation systems: Progress and challenges-A survey. *Information Fusion* 12(1): 4–10. doi:10.1016/j.inffus.2010.06.001

Ertl, G. 1998. Shortest path calculation in large road networks, *OR Spektrum* 20(1): 15–20. doi:10.1007/BF01545524

European Transport Modelling & Scenarios: fitness-for purpose analysis [interaktyvus]. 2006. Project FP6-2002-SSP-1/502002. Brussels: European Commission, 79 p. [žiūrėta 2013 m. sausio 19 d.]. Prieiga per internetą: http://www.transport-research.info/Upload/Documents/201302/20130201_153641_71422_Deliverable_4.3_European_transport_modelling_&_scenarios.pdf

Flodén, J. 2007. *Modelling intermodal freight transport, the potential of combined transport in Sweden*: Doctoral thesis [interaktyvus]. University of Gothenburg.

Gothenburg, Sweden: BAS Publishing, 262 p. [žiūrėta 2010 m. gruodžio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://hdl.handle.net/2077/17141>

Fowler, C. 2001. Application of the Least-Cost Transportation Model in Estimating the Impacts of Major Transportation System Changes – A case study of Dam Breaching on the Snake River, *Transportation Research Record: Transportation Research Board* 1763: 65–72. doi:10.3141/1763-10

Galin, D. 1981. Speeds on Two Lane Rural Roads – A Multiple Regression Analysis, *Traffic Engineering and Control* 22(8–9): 453–460. ISSN 0041-0683.

Giannopoulos, G. A. 2004. The application of information and communication technologies in transport, *Operational Research* 152(2): 302–320. doi:0.1016/S0377-2217(03)00026-2

Goodwin, L. 2002. *Weather Impacts on Arterial Traffic Flow* [interaktyvus]. Washington, D.C.: Mitretek Systems Inc. [žiūrėta 2010 m. gruodžio 17 d.]. Prieiga per internetą: http://www.ops.fhwa.dot.gov/weather/best_practices/ArterialImpactPaper.pdf

Gromicho, J.; Oudshoorn, E.; Post, G. 2011. Generating price-effective intermodal routes, *Statistica Neerlandica* 65(4): 432–445. doi:10.1111/j.1467-9574.2011.00493.x

Groothedde, B.; Ruijgrok, C.; Tavasszy, L. 2005. Towards collaborative, intermodal hub networks. A case study in the fast moving consumer goods market, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 41(6): 567–583. doi:10.1016/j.tre.2005.06.005

Guo, W.; Guo, J.; Jin, Y.; Sun, W.; Hu, W. 2005. *Optical network design with geographic distribution information* [interaktyvus]. In ISPRS Workshop Service and Application Spatial Data Infrastructure, XXXVI(4/W6), Oct.14–16, Hangzhou, China, 243–247., [žiūrėta 2011 m. gruodžio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/4-W6/papers/243-248WeiGuo-A089.pdf>

Hamilton, B. A.; Jacobs, E. K. 2009. Shared use of railroad infrastructure with noncompliant public transit rail vehicles: A practitioner's guide [interaktyvus]. Project Number: A-27, Transit cooperative research program (TCRP), Report 130. Washington: National Research council, 110 p. ISSN 1073-4872. [žiūrėta 2011 m. kovo 21 d.]. Prieiga per internetą: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_130.pdf

Hancock, K. L.; Xu, J. 2005. *Modeling Regional Freight Flow Assignment Through Intermodal Terminals* [interaktyvus]. Project No. UMAR. UTC Year 15. Massachusetts Institute of Technology. Springfield, Virginia: National Technical Information Service, 26 p. [žiūrėta 2011 m. balandžio 7 d.]. Prieiga per internetą: http://ntl.bts.gov/lib/24000/24900/24916/Hancock_UMAR15-6.pdf

Hardgrave, B.C.; Aloysius, J.; Goyal, S. 2009. Does RFID improve inventory accuracy? A preliminary analysis, *International Journal of RF Technologies: Research and Applications* 1(1): 44–56. doi:10.1080/17545730802338333

Hawkins, R. K. 1988. Motorway traffic behaviour in reduced visibility conditions, in *Proceedings of the Second International Conference on Vision in Vehicles*, 14–17

September 1987, Nottingham, UK. Burlington, MA: Springer, 9–18. ISBN 9780444704238.

HCM 2000 (Highway Capacity Manual). 2000. *Transportation research board* [interaktyvus]. Washington: National research council, 1207 p. [žiūrėta 2013 m. rugsėjo 26 d.]. Prieiga per internetą: http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacital_manual.pdf ISBN 0-309-06681-6

Huang, He; Gao, S. 2012. Optimal paths in dynamic networks with dependent random link travel times, *Transportation Research Part B: Methodological* 46(5): 579–598. doi:10.1016/j.trb.2012.01.005

Yatskiv, I.; Yurshevich, E.; Savrasovs, M. 2007. Investigation of Riga Transport Node Capacity on the Basis of Microscopic Simulation, in *Proceedings of the 21st European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2007*, 4–6 June, 2007, Prague, Czech Republic. Prague, Czech Republic: Curran Associates, Inc., 584–589. doi:10.7148/2007-0584

Yatskiv, I.; Savrasovs, M. 2010. Development of Riga-Minsk transport corridor simulation model, *Transport and Telecommunication* 11(1): 38–47. ISSN 1407-616.

Ibrahim, A. T.; Hall, F. L. 1994. Effect of adverse weather conditions on speed-flowoccupancy relationships, *Transportation Research Record* 1457: 184–191. ISSN 0361-1981.

Ingalls, R. G.; Shen G.; Kamath, M.; Pulat, P. S. 2003. *Freight Movement Model Development for Oklahoma* [interaktyvus], Phase IV report: Combined regional–state freight movement model and flips software prototype Oklahoma: Oklahoma Transportation Center (OTC), 146 p. [žiūrėta 2012 m. lapkričio 17 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.oktc.org/otc/fmmfinalreport-dec09.pdf>

Jacob, B.; Feypell-de La Beaumelle, V. 2010. Improving truck safety: Potential of weightin–motion technology, *IATSS Research* 34(1): 9–15. doi:10.1016/j.iatssr.2010.06.003

Jakimavičius, M.; Mačerinskienė, A. 2006. A GIS–based modelling of vehicles rational routes, *Civil engineering and management* 12(4): 303–309. ISSN 1392–3730. doi:10.1080/13923730.2006.9636407

Jaržemskienė, I. 2008. Intermodalinio transporto plėtros kliūtys, iš *Transporto vadyba* [Transport Management]: 10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2007 m. gegužės 3 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 552–556. ISBN 9789955283744.

Jedermann, R.; Behrens, C.; Westphal, D.; Lang, W. 2006. Applying autonomous sensor systems in logistics – Combining sensor networks, RFIDs and software agents, *Sensors and Actuators A* 132(1): 370–375. doi:10.1016/j.sna.2006.02.008

Jespersen, P. H.; Lohse, S. 2012. *A Green Transport Corridor within the Öresund Region, Rethinking Transport in the Öresund Region: Policies, Strategies and Behaviours* [interaktyvus]. Lunds, Sweden: Lunds University, 51–62. ISBN 978–91–88902–86–3.

[žiūrėta 2013 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://lup.lub.lu.se/record/2429902/file/2429926.pdf>

Jourquin, B.; Beuthe, M.; Demilie, C. L. 1999. Freight bundling network models: methodology and application, *Transportation Planning and Technology* 23: 157–177. doi:10.1080/03081069908717645

Terminology on combined transport. Prepared by the UN/ECE, the European Conference of Ministers of Transport (ECMT) and the European Commission (EC). New York and Geneva, 2001. 71 p.

Kindberg, L. 2013. *Improving Vessel and Supply Chain Fuel Efficiency* [interaktyvus], CAAAC (The Clean Air Act Advisory Committee) Full Committee Meeting, February 26–27, 2013, Alexandria, VA. [žiūrėta 2013 m. gruodžio 28 d.]. Prieiga per internetą: http://www.epa.gov/air/caaac/pdfs/caaac_2-27-2013_kindberg.pdf

Kiran, D. U. 2007. *Trends in Intermodal Freight Transportation* [interaktyvus]. Portland State University, Department of Civil and Environmental Engineering, Portland, 3–4. [žiūrėta 2011 m. birželio 18 d.]. Prieiga per internetą: http://web.cecs.pdx.edu/~monserec/courses/freight/classprojects/CE453_Winter07_Intermodal.pdf

Kyster–Hansen, H.; Thisgaard P.; Henriques M.; Niss M.–K. 2011. *Green Corridor Manual (draft) – Purpose, definition and vision for Green Transport Corridors* [interaktyvus]. EWTC II project. Copenhagen: Danish Transport Authority, 36 p. [žiūrėta 2012 m. spalio 14 d.]. ISBN: 978-87-91726-63-7. Prieiga per internetą: <http://www.ewtc2.eu/ewtc/project-news/draft-report---purpose,-definition-and-vision-for-green-transport-corridors.aspx>

Kyte, M.; Khatib, Z.; Shanon, P.; Kitchener, F. 2001. Effect of Weather on Free-Flow Speed, *Transportation Research Record* 1776: 61–68. doi:10.3141/1776-08

Klaus, P.; Krieger, W.; Krupp, M. 2012. *Gabler Lexikon Logistik: Management logistischer Netzwerke und Flüsse* (5th ed.). Wiesbaden: Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden. 648 p. doi:10.1007/978-3-8349-7172-2

Knapp, K. K.; Smithson, L. D. 2000. Winter Storm Event Volume Impact Analysis Using Multiple–Source Archived Monitoring Data, *Transportation Research Board* 1700: 10–16. doi:10.3141/1700-03

Kotsialos, A.; Papageorgiou, M.; Diakaki, C.; Pavlis, Y.; Middelham, F. 2002. Traffic flow modeling of large–scale motorway networks using the macroscopic modeling tool METANET, *Intelligent Transportation Systems* 3(4): 282–292. doi:10.1109/TITS.2002.806804

Lamm, R.; Choueiri, E. M.; Mailaender, T. 1990. Comparison of Operating Speeds on Dry and Wet Pavements of Two–Lane Rural Highways, *Transportation Research Record* 1280: 199–207.

Lam, W.; Tam, M.; Cao, X.; Li, X. 2013. Modeling the Effects of Rainfall Intensity on Traffic Speed, Flow, and Density Relationships for Urban Roads, *Transportation Engineering* 139(7): 758–770. doi:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000544

Levinson, M. 2010. *The box: how the shipping container made the world smaller and the world economy bigger*. Princeton: Princeton University Press. 393 p. ISBN 0691136408.

Li, L.; Liu, Y. A.; Tang, B. H. 2007. SNMS: an intelligent transportation system network architecture based on WSN and P2P network, *Journal of China universities of posts and telecommunications* 14(1): 65–70. doi:10.1016/S1005-8885(07)60058-2

Liang, W. L.; Kyte, M.; Kitchener, F.; Shannon, P. 1998. Effect of Environmental Factors on Driver Speed, *Transportation Research Record* 1635: 155–161. doi:10.3141/1635-21

Liou, H. T.; Hu, S. R. 2009. Inferring Network Origin-Destination Matrices Using Partial Link Traffic Flow Information [interaktyvus]. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 7, 2009, 16 p. [žiūrėta 2011 m. spalio 14 d.]. Prieiga per internetą: http://www.easts.info/publications/journal_proceedings/journal2010/100281.pdf

Longman žodynas / The Longman Dictionaries [interaktyvus] 2013. [žiūrėta 2013 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ldoceonline.com/dictionary/system>

Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2012 m. kovo 28 d. nutarimas Nr. 347 Dėl Lietuvos respublikos Vyriausybės 2011 metų veiklos ataskaitos pateikimo Lietuvos respublikos Seimui [interaktyvus]. 2012. [žiūrėta 2013 m. balandžio 17 d.]. Prieiga per internetą: http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=421361

Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2014 m. kovo 26 d. nutarimas Nr. 257 Dėl Lietuvos respublikos Vyriausybės 2013 metų veiklos ataskaitos pateikimo Lietuvos respublikos Seimui [interaktyvus]. 2014. [žiūrėta 2014 m. rugsėjo 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.lrv.lt/bylos/veikla/veiklos-ataskaitos/2013%20veiklos%20ataskaita.pdf>

Ludvigsen, J.; Klæboe, R. 2010. *Green Handshake. Sustainable rail freight connections between Norway and Europe* [interaktyvus]. TØI-Report 1118/2010. Oslo: Institute of Transport Economics. 23 p. [žiūrėta 2011 m. rugpjūčio 29 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/2010/1118-2010/1118-2010-el.pdf>

Lumsden, K.; Stefansson, G. 2007. Smart freight to enhance control of freight transportation networks, *Logistics Systems Management* 3(3): 315–329. <http://dx.doi.org/10.1504/IJLSM.2007.012996>

Luo, M. 2002. *Container Transportation Service Demand Simulation Model for US Coastal Container Ports*: Ph.D. Thesis of Doctoral Dissertation. University of Rhode Island, USA. Kingston, RI: University of Rhode Island. 132 p. [žiūrėta 2011 m. liepos 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://digitalcommons.uri.edu/dissertations/AAI3063773>

Maa, T. Y.; Lebacque, J. P. 2013. Dynamic System Optimal Routing in Multimodal Transit Network, *Transportation Research Board* 2351(1): 76–84. doi:10.3141/2351-09

Macharis, C.; Bontekoning, Y. M. 2004. Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review, *European Journal of Operational Research – EJOR* 153(2): 400–416. doi:10.1016/S0377-2217(03)00161-9

Mačerauskas, V.; Rudzikas, R.; Švėgžda, O. 1994. Traukinio ir manevro maršrutų sudarymo vaizdavimo monitoriuje programa, iš *Transporto technologija: konferencijos „Lietuvos mokslas ir pramonė“*, įvykusios Kaune 1993 m. vasario 1–4 d., pranešimų medžiaga. Kauno technologijos universitetas. Kaunas: Technologija, 54–60.

Maerivoet, S.; De Moo, B. R. 2005. *Transportation Planning and Traffic Flow Models* [interaktyvus]. Physics and Society, ESAT-SCD (SISTA), TR 05-155. Leuven, Belgium: Katholieke Universiteit Leuven. 51 p. [žiūrėta 2012 m. balandžio 16 d.]. Prieiga per internetą: <http://arxiv.org/pdf/physics/0507127v1.pdf>

Manzie, C.; Watson, H.; Halgamuge, S. 2007. Fuel economy for urban driving: Hybrid vs. intelligent vehicles, *Transportation Research, Part C* 15: 1–16. doi:10.1016/j.trc.2006.11.003

Marell, A.; Westin, K. 1999. Intelligent transportation systems and traffic safety-drivers perception and acceptance of electronic speed checkers, *Transportation research Part C* 7(2–3): 131–147. doi:10.1016/S0968-090X(99)00016-9

Marsan, A. M.; Taricco, J.; Roncarolo, G.; Tagliente, G. 1996. Simulation of three MAC protocols for intelligent highway packet radio networks, *Computer Communications* 19(12): 943–953. doi:10.1016/S0140-3664(96)01144-9

Maskeliūnaitė, L.; Sivilevičius, H. 2009. Traukinius aptarnaujančio personalo nuomonės apie keleivių vežimo kokybės kriterijų svarbą nustatymas AHP metodu, *Mokslas–Lietuvos ateitis* [Science – Future of Lithuania]: Transporto inžinerija 1(6): 57–62. doi:10.3846/mla.2009.6.12

Maze, T. H.; Agarwal, M.; Burchett, G. 2006. Whether weather matters to traffic demand, traffic safety, and traffic operations and flow, *Transportation Research Record* 1948: 170–176. doi:10.3141/1948-19

Meimbresse, B.; Lipinski, R. 2007. Tools for route planning of intermodal logistic chains and improvement potential as well as adaptation for spatial planning purposes, in *Proceedings of the IEEE LINDI 2007 (International Symposium Logistics and Industrial Informatics, 2007) symposium, 13–15 September 2007, Wildau, Germany*. IEEE conference publications, 105–110. ISSN 2168-2976. doi:10.1109/LINDI.2007.4343521

MEMO. 2011. *Transportas 2050*. Svarbiausi iššūkiai ir pagrindinės priemonės, MEMO/11/197 [interaktyvus]. Briuselis. [žiūrėta 2012 m. spalio 20 d.]. Prieiga per internetą: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-11-197_lt.htm

Meng, Q.; Wang, X. 2011. Intermodal hub-and-spoke network design: incorporating multiple stakeholders and multi-type containers, *Transportation Research Part B: Methodological* 45(4): 724–742. doi:10.1016/j.trb.2010.11.002

Mentzer, J. T.; DeWitt, W.; Keebler, J. S.; Min, S.; Nix, N. W.; Smith, C. D.; Zacharia, Z. G. 2001. Defining Supply Chain Management, *Journal of Business Logistics* 22(2): 1–25. doi:10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x

Notteboom, T. E.; Rodrigue, J. P. 2005. Port regionalization: towards a new phase in port development, *Maritime Policy & Management* 32(3): 297–313. doi:10.1080/03088830500139885

Olson, P. L.; Cleveland, D. E.; Fancher, P. S.; Kostyniuk, L. P.; Schneider L. W. 1984. *Parameters Affecting Stopping Sight Distance*. NCHRP Report 270. Washington, D.C.: National Research Council. 36 p.

Panagakos, G.; Psaraftis, H. 2013. How green are the TEN-T core network corridors? [interaktyvus], in *Proc. of the Transport Research Arena (TRA) 2014*, 14–17 April 2014, Paris, France, 2014. [žiūrėta 2014 m. gegužės 23 d.]. Prieiga per internetą: http://www.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_18260.pdf

Panayides, P. M. 2002. Economic organization of intermodal transport, *Transport Reviews* 22(4): 401–414. doi:10.1080/01441640210124523

Paulauskas, V. 2000. *Uostų plėtra*, Klaipėda, Klaipėdos universiteto leidykla, 285 p. ISBN 9955456019.

Petrenko, V. 2012. *Geležinkelio eismo sauga*. Vilnius: Technika, 59 p. ISBN 978-609-457-196-1.

Podevins, O. 2007. Sea Port system and the inland terminals network in the enlarged European Union, in *Proceedings of the IEEE LINDI 2007 (International Symposium Logistics and Industrial Informatics, 2007) symposium*, 13–15 September 2007, Wildau, Germany. IEEE conference publications, 151–155. doi:10.1109/LINDI.2007.4343530

Prato, C. G. 2009. Route choice modelling: past, present and future research directions, *Choice Modelling* 2(1): 65–100. doi:10.1016/S1755-5345(13)70005-8

PTV Groups: *VISUM 12.5*. 2012. Fundamentals Karlsruhe: PTV Planung Transport Verkehr AG.

Racunica, I.; Wynter, L. 2005. Optimal location of intermodal freight hubs, *Transportation Research Part B: Methodological* 39(5): 453–477. doi:10.1016/j.trb.2004.07.001

Rakha, H.; Arafeh, M.; Park, S. 2012. Modeling Inclement Weather Impacts on Traffic Stream Behavior, *Transportation Science and Technology* 1(1): 25–48. doi:10.1260/2046-0430.1.1.25

Rakha, H.; Farzaneh, M.; Arafeh, M.; Hranac, R.; Sterzin, E.; Krechmer, D. 2007. *Empirical studies on traffic flow in inclement weather* [interaktyvus], Technical report. Virginia Tech Transportation Institute, 114 p. [žiūrėta 2010 m. gruodžio 16 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.mautc.psu.edu/docs/VPI-2005-01.pdf>

Rizzoli, A. E.; Fornara, N.; Gambardella, L. M. 2002. A Simulation Tool for Combined Rail–Road Transport in Intermodal Terminals, *Mathematics and Computers in Simulation* 59(1–3): 57–71. doi:10.1016/S0378-4754(01)00393-7

Rodrigue, J. P.; Notteboom, T. 2009. The future of containerization: perspective from maritime and inland freight distribution, *International Journal on Geography* 74: 7–22. doi:10.1007/s10708-008-9211-3

Root, A. 2003. *Delivering sustainable transport – a social science perspective*. Oxford: Elsevier Science. 201 p. ISBN 80440223.

Ruane, F.; Sutherland, J. 2002. *Globalization, Europeanization and trade in the 1990s: export responses of foreign and indigenous manufacturing companies* [interaktyvus], Europe and Globalization. London: Palgrave, 207–228. [žiūrėta 2012 m. balandžio 21 d.]. Prieiga per internetą: http://www.tcd.ie/Economics/TEP/2002_papers/TEPNo4FR22.pdf

Russel, C.; Kieran, D.; Geoffrey, H. 2007. *Globalization and Regional Economic Modeling*. Heidelberg: Springer. 488 p. ISSN 1430-9602.

Sakalauskas, K. 2012. *Geležinkelių projektavimas*. Vilnius: Technika. 176 p. doi:10.3846/1254-S

Sarimveisa, H.; Patrinos, P.; Tarantilis, C. D.; Kiranoudis, C. T. 2008. Dynamic modeling and control of supply chain systems: A review, *Computers & Operations Research* 35(11): 3530–3561. doi:10.1016/j.cor.2007.01.017

Sivilevičius, H. 2011. Modelling the interaction of transport system elements. *Transport*, 26(1): 20–34. doi:10.3846/16484142.2011.560366

Sivilevičius, H.; Šukevičius, Š.; Maskeliūnaitė, L.; Bražiūnas J. 2012. *Transporto sistemos elementai: praktinių darbų metodikos nurodymai*. Vilnius: Technika. 97 p. ISBN 978-609-457-347-7.

Sjögren, J. 2010. *Green Corridors 2030* [interaktyvus], in Central Baltic Foresight Debate, 18 May 2010 Stockholm, Sweden. [žiūrėta 2012 m. sausio 25 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.transbaltic.eu/wp-content/uploads/2009/12/Green-Corridors-in-2030-by-Jerker-Sjogren.pdf>

Southworth, F.; Peterson, B. E. 2000. Intermodal and international freight network modeling, *Transportation Research, Part C* 8: 147–166. doi:10.1016/S0968-090X(00)00004-8

Statino, J.; Bogdevičius, M. 2008. Tranzitinių krovinių srautų dinaminių charakteristikų matematinio modeliavimo galimybės, iš *Teminės konferencijos Transportas: 10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios 2007 m. gegužės 3 d., straipsnių rinkinys*. Vilnius: Technika, 509–514. ISBN 978-9955-28-374-4

Statista. 2014. *Estimated containerized cargo flows on major container trade routes in 2011* [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 m. gegužės 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.statista.com/statistics/253988/estimated-containerized-cargo-flows-on-major-container-trade-routes/>

Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 m. kovo 3 d.]. Prieiga per internetą: www.stat.gov.lt

Steenken, D.; Voss, S.; Stahlbock, R. 2004. Container terminal operation and operations research – a classification and literature review, *OR Spectrum* 26(1): 3–49. doi:10.1007/3-540-26686-0_1

Stefansson, G.; Lumsden, K. 2009. Performance Issues of Smart Transportation Management Systems, *Productivity and Performance Management* 58(1): 55–70. doi:10.1108/17410400910921083

Stehle, S. 2013. *Green Corridors—An Evaluation of a Tool for Shippers for measuring Carbon Footprints of Transportation* [interaktyvus]: Master Degree Project. Göteborgs universitet. [žiūrėta 2014 m. kovo 22 d.]. Prieiga per internetą: https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/33434/1/gupea_2077_33434_1.pdf

Swahn, M.; Boll, M.; Kotake, C.; Engström, R. 2011. *Green corridors criterias* [interaktyvus]. Linköping: Trafikverket. 30 p. ISSN 1401–9612. [žiūrėta 2013 m. vasario 17 d.]. Prieiga per internetą: http://www.trafikverket.se/PageFiles/42686/green_corridors_criterias.pdf

Teodorovic, D.; Lucic, P. 2006. Intelligent parking systems, *Operational Research* 175: 1666–1681. doi:10.1016/j.ejor.2005.02.033 .

Tsugawa, S.; Aoki, M.; Hosaka, A.; Seki, K. 1997. A survey of present IVHS activities in Japan, *Control Engineering Practice* 5(11): 1591–1597. doi:10.1016/S0967-0661(97)10014-4

Unrau, D.; Andrey, J. 2006. Driver response to rainfall on an urban expressway, *Transportation Research Board* 1980(1): 24–30. doi:10.3141/1980-06

van Hoek, R. 2002. Using information technology to leverage transport and logistics service operations in the supply chain: an empirical assessment of the interrelation between, *Information Technology and Management* 1(1): 115–130. doi:10.1504/IJITM.2002.001191

van Klink, H. A.; van den Berg, G. C. 1998. Gateways and intermodalism, *Transport geography* 6(1): 1–9. doi:10.1016/S0966-6923(97)00035-5

Vasilis Vasiliauskas, A. 2002. Modelling of intermodal freight transportation network, *Transport* 17(3): 117–121. doi:10.1080/16483840.2002.10414024

Vasseur, J. P.; Dunkels, A. 2010. *Interconnecting Smart Objects with IP: The Next Internet*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers Inc. 432 p. ISBN 0123751659.

Vilkelis, A.; Jakovlev, S. 2014. Outbound supply chain collaboration modelling based on the automotive industry, *Transport* 29(2): 223–230. doi:10.3846/16484142.2013.789980

Wichser, J.; Weidmann, U.; Fries, N.; Nash, A. 2007. Strategies for increasing intermodal freight transport between Eastern and Western Europe [interaktyvus], in *Proceedings of the European Transport Conference*, 17–19 October 2007, Noordwijkerhout, Netherlands. Wokingham, UK: TRL. 17–19. ISSN 2313-1853. [žiūrėta 2011 m. vasario 8 d.]. Prieiga per internetą: <http://abstracts.aetransport.org/paper/index/id/2703/confid/13>

Wikipedia. Laisvoji enciklopedija internete. 2014 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: http://lt.wikipedia.org/wiki/Intelektin%C4%97s_transporto_sistemas

Williams, B.M.; Hoel, L.A., 1998. Freight planning requirements for interstate corridors, *Transportation Quarterly* 52 (2): 39–48. ISSN: 0278-9434.

Wootton, J. R.; Garcia-Ortiz, A.; Amin, S. M. 1995. Intelligent Transportation Systems, A global perspective, *Mathematical and Computer Modelling* 22(4-7): 259–268. doi:10.1016/0895-7177(95)00137-Q

World Health Organization 2002. *The World health report 2002: Reducing risks, promoting healthy life* [interaktyvus], Switzerland. 167 p. ISBN 92 4 156207 2. [žiūrėta 2013 m. kovo 2 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.who.int/whr/2002/en/>

Zhang, K.; Nair, R.; Mahmassani, H. S.; Miller-Hooks, E. D.; Arcot, V. C.; Kuo, A.; Dong, J.; Lu, C. C. 2008. Application and Validation of Dynamic Freight Simulation – Assignment Model to Large-Scale Intermodal Rail Network: Pan-European Case, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2066: 9–20. doi:10.3141/2066-02

Ziliaskopoulos, A.; Wardell, W. 2000. An intermodal optimum path algorithm for multimodal networks with dynamic arc travel times and switching delays, *Operational Research* 125(3): 486–502. doi:10.1016/S0377-2217(99)00388-4

Autorės mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Miliauskaitė, L.; Jarašūnienė, A. 2011. Concept of railway in East West green transport corridor, in the 15th international conference Transport Means – 2011: Selected papers. Ed. by A. Fedaravičius, J. Sapragnas, R. Keršys. October 20–21, 2011, Kaunas University of Technology, Lithuania. Kaunas: Technologija, 135–138. ISSN 1822-296X. (Scopus; Conference Proceedings Citation Index).

Jarašūnienė, A.; Miliauskaitė, L. 2011. Application of measures solving traffic safety issues of Lithuanian roads, in the 15th international conference Transport Means – 2011: Selected papers. Ed. by A. Fedaravičius, J. Sapragnas, R. Keršys. October 20–21, 2011, Kaunas University of Technology, Lithuania. Kaunas: Technologija, 139–142. ISSN 1822-296X. (Scopus; Conference Proceedings Citation Index).

Jarašūnienė, A.; Greičiūnė, L.; Šakalys, A. 2012. Research of competitive environment of Klaipėda seaport comparing to other seaports in the eastern Baltic Sea region, Transport 27(1): 5–13. ISSN 1648-4142. (Thomson Reuters; Elsevier Bibliographic Databases; ICONDA); [Citav. rod.: 1,081(F) (2012)].

Jarašūnienė, A.; Greičiūnė, L. 2013. Using the model of intermodal freight efficiency on the assurance of traffic in green corridor, *Actual problems of economics* 8(146): 543–551. ISSN 1993-6788. (Scopus; Conference Proceedings Citation Index).

Greičiūnė, L. 2014. Optimalaus maršruto nustatymas taikant Belmano ir Fordo metodą, *Mokslas – Lietuvos ateitis [Journal of Science – future of Lithuania]: Transporto inžinerija* 6 (5): 546–551. ISSN 2029-2252. (ICONDA; EBSCOhost; IndexCopernicus). doi:10.3846/mla.2014.77

Straipsniai kituose leidiniuose

Jarašūnienė, A.; Miliauskaitė, L. 2011. The estimation on traffic safety problems in roads of Lithuania using intelligent transport system (ITS), in *Proc. of the 11th international conference “Reliability and statistics in transportation and communication (RelStat’11)”*, 2011, Riga, Latvia. Riga: Transport and Telecommunication Institute, 327–334. ISBN 9789984818467.

Jarašūnienė, A.; Miliauskaitė, L. 2011. Capacity research of flows via road at international border control posts between Lithuania and Belarus, in *The 7th International Conference “Transbaltica 2011”*: Selected papers. Ed. by V. Bartulis, Z. A. Lozia. May 5–6, 2011, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 69–73. ISSN 2029-2376.

Miliauskaitė, L. 2011. Evaluation of the green transport corridor concepts in the EU area, in *The 7th International Conference “Transbaltica 2011”*: Selected papers. Ed. by V. Bartulis, Z. A. Lozia. May 5–6, 2011, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika. Vilnius: Technika, 112–119. ISSN 2029-2376.

Greičiūnė, L. 2012. Klaipėdos valstybinio jūrų uosto konkurencingumo didinimo scenarijai, iš *Transporto inžinerija*: 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos „Transporto inžinerija ir vadyba“, įvykusios 2012 m. gegužės 4 d. straipsnių rinkinys. Vilnius: Technika, 260–264. ISSN 2029-7157.

Greičiūnė, L.; Jarašūnienė, A. 2013. Analysis on the application of intellectual technologies (IT) in Lithuanian intermodal transport, in *Proc. of the 13th international conference “Reliability and statistics in transportation and communication (RelStat’13)”*. Riga, Latvia, 16–19 October, 2013. Riga: Transport and Telecommunication Institute, 272–276. ISBN 9789984818580.

Jarašūnienė, A.; Greičiūnė, L. 2013. Research on the efficiency of transportation services by applying information, in *Proc. of the 13th international conference “Reliability and statistics in transportation and communication (RelStat’13)”*. Riga, Latvia, 2013. Riga: Transport and Telecommunication Institute, 245–248. ISBN 9789984818580.

Greičiūnė, L.; Jarašūnienė, A.; Batarlienė, N. 2013. Improving intermodal transportation in green corridors with collaboration and communication technology, in *The 8th International Conference “Transbaltica 2013”*: Selected papers. Ed. by M. Bogdevičius, Z. Lozia, A. Pshinko. May 9–10, 2013, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 43–46. ISSN 2029-2376. doi:10.3846/transbaltica2013.010

Summary in English

Introduction

Formulation of the Problem

In order to ensure a continuous intermodal freight development in the green transport corridor, and avoid delays, route variations or downtime of the vehicle it is important to evaluate the dependence of average traffic speed on road weather.

In developing the intermodal freight transport green transport corridor, it is also important to consider not only negative environmental aspects, but to ensure the optimal routing choices based on the data provided by the intelligent transport systems (located along green transport corridor).

Relevance of the Thesis

The analysis of the scientific literature and foreign experience showed that investigation of transportation in the green transport corridors have to be oriented to intermodal freight and application of intelligent transport systems. The authors analyses the principles of use of the database of the intelligent transport systems in accomplishing optimisation tasks related to the reduction of the route time, selection of optimal distance routes and reduction of negative environmental impact has not been fully analysed.

The Object of Research

The research on Intermodal freight optimal route in the green transport corridor to reduce the negative impact of transport on the environment variables (route distance, duration and emission amounts).

The Aim of the Thesis

To create the intermodal freight mathematical modelling based on the optimal route selection model in the green transport corridor using multiple road weather stations and traffic intensity calculators and databases.

The Objectives of the Thesis

The following objectives have been set to that to achieve the aim of the research:

1. To identify the criteria of the environmental negative impact indicators (route distance, duration and emission amounts) for intermodal freight in the green transport corridor.
2. By applying the Bellman dynamic programming mathematical model, to create a programming language code (Visual Basic for Application) to solve optimal routing tasks.
3. By applying an experimental research method, to verify relevance of the developed intermodal freight optimal route in the green transport corridor model.
4. Based on the research findings, to provide conclusions for the development and adaptation of the model of optimal route in the green transport corridor.

The Research Methodology

Applied mathematical modelling, dynamic programming, the experimental research (numerical and analytical) and data clustering methods. Resources: Visual Basic application, the intelligent transport system (road weather stations and traffic counters) data.

Scientific Novelty of the Research

1. For the first time in Lithuania, a mathematical model of intermodal freight optimal route in the green transport corridor was created according to relevant criteria.
2. Intermodal freight optimal route model based on intelligent transport system data interface model for vehicle and the traffic characteristics depending on various weather conditions algorithm.
3. Original model of intelligent transport system data application model to solve the intermodal freight in green corridor routes optimization problems.

Practical Value of the Research Findings

Referring to the theoretical and experimental research results, the model of intermodal freight in the green transport corridors was generated using intelligent transport system databases and providing for the reduction of downtime and length of the routes and

indicating the emission amounts in the route. Intermodal freight optimal route model can be applied to the intermodal freight transport not only in Lithuania, but also in global (long-distance) routes.

Defended Statements

1. The developed optimal route for intermodal freight model requires an interface with intelligent transport system database and indicated optimized criteria.
2. The optimal route model the road weather conditions have impact in the green transport corridor through the expression of average vehicle traffic speed optimal route in green transport corridor.

Approval of Research Findings

The dissertation topic was publicised in 11 scientific publications: 1 – ISI Web of Science, 2 – reviewed in scientific journals, 3 – in reviewed foreign international conference publications, 5 – reviewed Lithuanian international conference publications.

The results of thesis research presented in nine scientific conferences in Lithuania and foreign countries:

1. 15th international conference Transport Means – 2011. October 20–21, 2011, Kaunas University of Technology, Lithuania (2).
2. 11th international conference “Reliability and statistics in transportation and communication (RelStat’11)”, 2011, Riga, Latvia (2).
3. The 7th International Conference “Transbaltica 2011”, Vilnius, Lithuania (2).
4. 13th international conference “Reliability and statistics in transportation and communication (RelStat’13)”. Riga, Latvia. (2)
5. The 8th International Conference “Transbaltica 2013“ Vilnius, Lithuania (1).

Structure of the Thesis

The dissertation consists of the introduction, three chapters, conclusions, the list of references and the list of the author’s publications.

Volume of the thesis: 125 pages without annexes. The text includes: 19 numbered formulas, 36 Figures and 5 Tables. The author of the thesis used 158 scientific literature and other sources.

1. Analysis of scientific works on intermodal freight, green transport corridors and intelligent transport systems problems

Formulation of the concept of the green transportation was based on the information provided by the environmental organizations stating that transport systems consume about 20 % of the world's energy resources and emit to atmosphere 25 % of carbon dioxide

(World Energy Council 2007). Particular emphasis is given to the significantly increasing transport emissions containing greenhouse gases.

The analysis of the EU legal framework concludes that green transport corridor concept at the European level has not yet been formed. Documents provide only theoretical aspects of the green transport, but insufficient attention is given to the green transportation systems and corridors.

Green transport corridor must be oriented to intermodal transport and rely on the application of the advanced technology in order to adjust to the growing freight volumes and contribute to the coherence of environmental and energy efficiency.

Since CO₂ emission (g/TEUkm) amounts of different modes of transport have not been defined by legislation or legally approved standards, the research was based on average values provided in the scientific sources (Kindberg 2013, ECOTransIT World), where the emission of rail transport is 168 g/TEUkm and road CO₂ transport – 574 g/TEUkm.

Intermodal transport allows to select an environmentally friendly transport mode of transport along the route, where the emission reduction is one of the objectives of the green transport corridor. Another important factor in the green corridor is suitable transshipment facilities, innovative vehicles and intelligent transport system, since, by choosing green transport corridor the freight carriers want to use not only environmentally friendly transport, but also to receive economic benefits and reduce costs and transit times.

In order to map a green transport corridor, it is important to identify the topology of the transport network and a network of terminals (and connections between them) involved in the intermodal transport. In modelling transportation of intermodal freight, one of the most important aspects is intermodal transport network, which is characterized by different modes of transport, transport actors, terminals and processes, as well as possible routes between them. The shortest route solutions can be found by applying a dynamic programming method, where container freight routes are created between the origin and destination pairs (Luo 2002), which are calculated according to the transportation costs.

The green transport corridor, by using intelligent transport system, facilitate route planning function which includes an open architecture (i.e. free-of-charge data provided online to all users), performs electronic data interchange, transport process optimization, real-time operating data information systems, intermodal freight routes planning system, cargo consolidation in main hubs, cost and CO₂ emission calculations for each route of transport services and transport processes and freight tracking. intelligent transport system innovations increase data flows, improve punctuality and quality of information and provides an opportunity to control and coordinate operations in real time (Crainic and Kim 2007).

Many scientists (Goodwin 2002; Rakha *et al.* 2012) were involved in the studies on impact of weather conditions on traffic flows and mobility. These studies were based on the quantitative change of speed, route length measurements and on the assessment of possible delays. The majority of these scientists highlighted the impact of road weather conditions on average traffic speed and traffic intensity. However, their opinion differed with respect to distribution of weather condition variable categories. Lithuanian scientists did not contribute to the investigation of this topic. In view of this, the author of the thesis

had to form a breakdown of road weather condition variable categories according to the proposals of foreign scientists.

In order to select the optimal route by optimized criteria (optimal route duration, distance, and emission amounts), the Bellman method turned out to be the most appropriate.

Research was also carried out on road weather dependence on average speed, however, there is still lack of road weather variable methodologies.

2. Research on optimal routing by using intelligent transport system's data along the green transport corridor

In this chapter the author developed a green transport corridor topological map, formulated the research algorithm of optimal route in the green transport corridor by shortest route distance, time and minimum emission amounts. To solve this problem a Visual basic application (VBA) code was created using the Bellman dynamic programming model for the selection of optimal intermodal transport routes. The model estimates the dependence of average traffic speed on road weather conditions.

Green transport corridor topological map in Lithuania was created by identifying layers for mapping (separate layers consisting of terminals, railway stations, border crossing stations locations, road network, rail lines, intelligent transport system stationary equipment locations). Green transport corridor topological map with layers by using the appropriate solutions allows to reduce the length of the route, the route delays, traffic accidents and the potential of its duration, including reduction of environmental pollution, the use of the corridor, e.g. increase of freight capacity.

Firstly, the research of intermodal freight applies data clustering and various data processing methods (road weather and traffic intensity equipment databases). The methods of topology for origin and destination pairs and neighbouring points (as detours) help to solve optimal route problems applying the Bellman dynamic programming method. The mathematical model's objective is to determine the optimal route based on relevant criteria (minimum distance L_{ij} , the minimum duration of route t_{ij} , minimum E_{ij} emission), linking this model with real-time Intelligent Transport Systems (road weather and traffic intensity equipment) information.

Based on the key tasks of the thesis, the model of intelligent transport system data interface for the establishment of the optimal intermodal route was developed. Its objective is to evaluate and find the optimal intermodal route in green transport corridor based on the optimal criteria (Fig. S1).

By applying intelligent transport system solutions the users get information before and during the trip. The users of the system easier decide on how to carry freight, what mode of transportation and route to choose. Due to regular data/information exchange during this process the drivers warned about congestion on the route or limitations are offered an alternative route to the destination.

Creation of the green transport corridor topology map required the use of precise digital and fully segmented maps of road and rail network. GIS databases are used in order to solve this problem.

In Fig. S1 Applying data clustering model (cluster databases of sections 1.1 and 1.2) the database is formed (section 1.3) of traffic intensity and road weather data (the interface allows by the selected date and time to provide information on weather conditions to determine the average traffic speed on the edge; or by researching average traffic speed dependency on road weather conditions to find information which indicates what weather conditions were at the selected date time) to indicate average traffic speed dependence on various weather conditions (section 2.4).

In Fig. S1 GIS subsystem (section 2) is composed the green transport corridor map (section 2.3) which consists of green transport corridor road network (edges) and possible detours (edges) and railway lines network(edges), the vertex road transport are identified as the main green transport corridor route and detourinter section, terminals and railway stations for container handling. The green transport corridor map includes the traffic intensity and road weather locations of the stations (section 2.2).

The developed green transport corridor's (section 2.3) map and the traffic intensity and road weather data interface provides the green transport corridor database where route edges are characterized for further mathematical solutions (section 3) to determine the optimal intermodal route along green transport corridor. The database of par. 1 and par. 2 data by applying the composed VBA code (section 3.2) was used to solve the Bellman dynamic programming problem (section 3.1) and to calculate and identify the optimal intermodal route between two points of origin and destination, based on relevant criteria (minimum route's duration or minimum route's distance and minimum route's emissions).

By applying GIS the author formed a green transport corridor route network crossing Lithuania. green transport corridor route edges and vertexes were positioned on the map (each vertex has a precise point and the edge of the route trajectory is formed by a sequence of coordinated system points).

The network of intermodal transport routes $G(V, A)$ was established with a set of vertexes V and a set of edges A . Terminals as vertexes in the transport network as relevant geographic points for container handling suggest that freight in any edge $(i, j) \in A$ may be carried with all or some of the p (transport modes).

The tables included in the traffic intensity and road weather databases are inter-linked. The relationship between separate tables is defined by the common and matching table fields.

Traffic intensity and road weather data interface (Fig. S1, section 1.3) was established according to the time variable (formula S1) i.e. EII data collection date was matched with road weather data collection equipment located in the same plane of coordinates.

$$D_{EII} = \text{vlookup} \left(\begin{array}{l} t; \text{ search area} \rightarrow t_{KOS}; \\ \text{match} (v_{vid}; \text{ search area} \rightarrow t_{KOS}; \text{ limit} \rightarrow t; 0) \\ \text{false} . \end{array} \right) , \quad (S1)$$

where D_{EI} – date of traffic intensity collection, $vlookup$ – relevant data search in the array column, $match$ – the values in the column range, t – data in road weather data array, v_{vid} – average traffic speed.

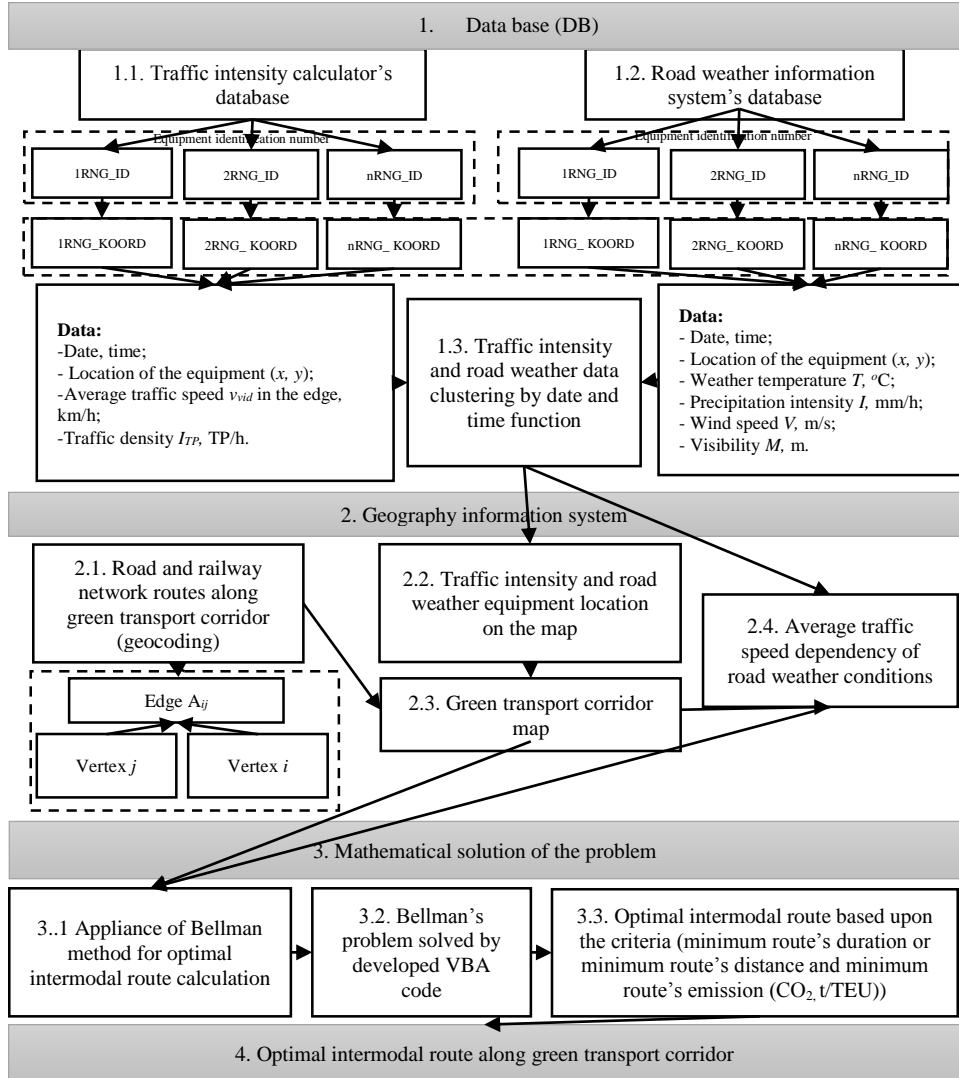


Fig. S1. Intelligent transport system Interface model for optimal intermodal routing in green transport corridor

These indicators determine duration of the route of the t_{ij}^p mode of transport $p \in P$ along the edge $(i, j) \in A_p$, which is currently determined in the edge A_{ij} by a permitted speed limit, but not by the actual real-time information, which may have a significant impact on v_{vid} depending on weather conditions.

As one of the most important aspects in the algorithm of the optimal intermodal route identification is the average traffic speed v_{vid} and distance $L_{i,j}$ between vertexes V_i and V_j .

Taking into account geographical position of Lithuania and its climate zone the author divided weather variables and precipitation by categories.

Because of the rain, snow, sleet, hail and flood the visibility on the road is reduced, and the adhesion coefficient of road surface and damages road infrastructure. These road weather conditions have negative effect on traffic flows because of the declining traffic intensity; delays are caused by the reduced average traffic speed; besides, weather conditions increase average speed inconsistencies, probability of accidents, and traffic restrictions on roads or bridges.

The weather conditions of the research F_{KOS} by precipitation categories consist of monitoring results $x_1, x_2, x_3 \dots x_k$, where x is the intensity of rain I_L , snow intensity

I_S , weather temperature T , wind speed V and visibility M results of precipitation categories, where variable n is number over the research period, the number of intervals k , here $k=1, 2, 3 \dots n$.

The average traffic speed v_{vid} (Fig. S1) under relevant road weather conditions F_{KOS} , is calculated by monitoring results $x_1, x_2, x_3 \dots x_k$ of the data v_{vid} value:

$$v_{vid} = \frac{(v_{vid[x_1]}, v_{vid[x_2]}, v_{vid[x_3]} \dots v_{vid[x_k]})}{n} \quad (S2)$$

In the edge A_{ij} the average traffic speed $v_{vid[i-j]}$ is calculated using S2 formula and average traffic speed v_{vid} of the edges is calculated as the sum of all average traffic speed v_{vid} in edges along the route then divided by the number of the edges in this route.

The percentage change of the average traffic speed Δv_{vid} (per cent.), under different weather conditions F_{KOS} , i.e., the difference of average traffic speed v_{vid} in weather conditions F_2 and average traffic speed v_{vid} at F_1 weather conditions and divided by average traffic speed v_{vid} at F_1 by applying S3 formula:

$$\Delta v_{vid} = \frac{(v_{vid[F_1]} - v_{vid[F_2]})}{v_{vid[F_1]}} \cdot 100\% \quad (S3)$$

The authors formulates a theoretical average speed v_{vid} of average traffic speed dependence on the edge A_{ij} of the F_{KOS} . Weather conditions F_{KOS} at the appropriate rainfall, wind speed, temperature and visibility limits v_{vid} vary according to the edge A_{ij} of the exponential dependency (Fig. S2).

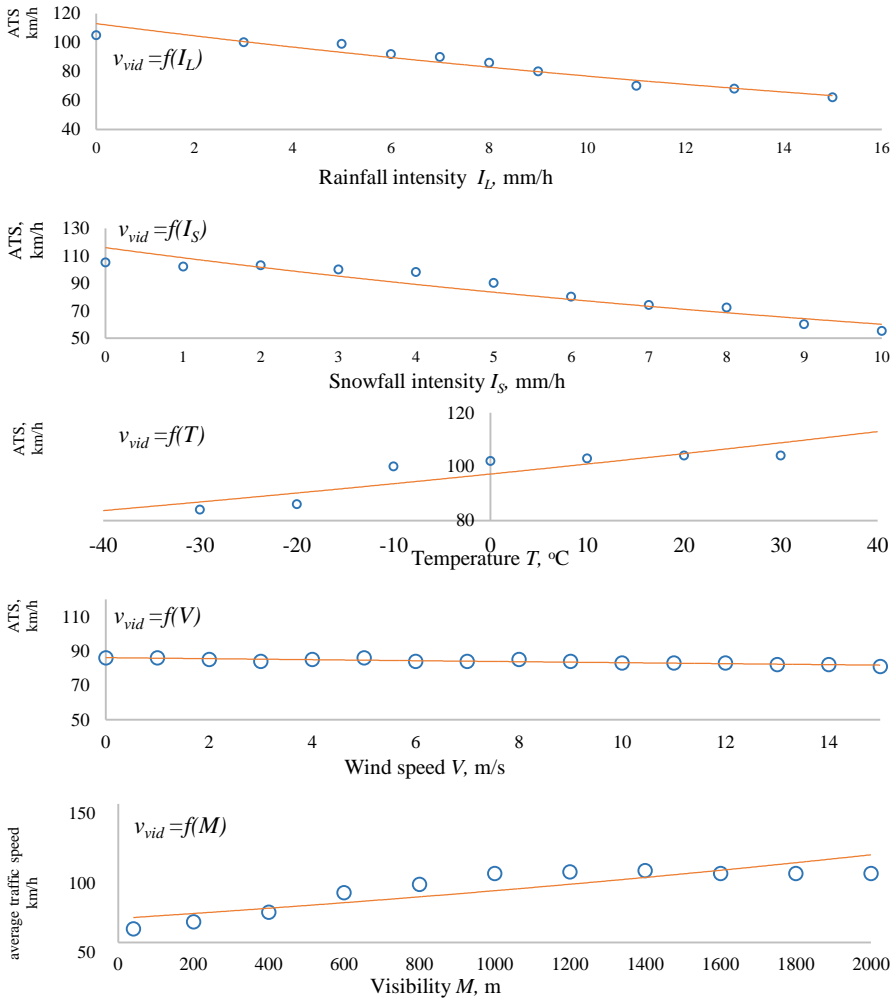


Fig. S2. The theoretical model of average speed relation to weather conditions on the route edge

Determining the average intensity of the rain $I_{L(y)}$ has taken into account the possible intensity of rainfall limits of $0 < y \leq 0.06$ mm/h (hereinafter identified by L1), $0.07 < y \leq 0.24$ mm/h (the identified L2), $0.25 < y \leq 0.6$ mm/h (hereinafter identified by L3) and $y > 0.6$ mm/h (further represented by L4) (S4 formula).

$$I_{L(y)} = \frac{(I_{L(y)_1} + I_{L(y)_2} + \dots + I_{L(y)_k})}{n}, \quad (S4)$$

Determining the average intensity of the snow $I_{S(z)}$ was made to the potential intensity of rainfall limits of $0 < z < 0.15$ mm/h (hereinafter identified by S1), $0.16 < z < 0.34$ mm/h (hereinafter identified by S2), $0.36 < z < 1.2$ mm/h (hereinafter identified S3) and $z < 1.2$ mm/h (hereinafter identified S4) (S5 formula).

$$I_{S(z)} = \frac{(I_{S(z)_1} + I_{S(z)_2} + I_{S(z)_k})}{n} \quad (S5)$$

In defining the average weather temperature $T_{(c)}$, the account was taken of possible temperature margins when $c > 10^\circ\text{C}$ (without precipitation), $c > 10^\circ\text{C}$, $10^\circ\text{C} < c < 1^\circ\text{C}$, $0 > c < -20^\circ\text{C}$ or $c < -20^\circ\text{C}$. In the calculations $T_{(>10\text{ bek})}$ has been chosen as the basic indicator because at that time there was no precipitation which could have any affect; the temperature is higher than 10°C and this creates ideal conditions for transportation.

Average air temperature per unit of time, when the weather temperature limits are c and applied S6 formula:

$$T_{(c)} = \frac{(T_{(c)_1} + T_{(c)_2} + \dots + T_{(c)_k})}{n} \quad (S6)$$

When weather temperature is higher than 10°C ($T_{(>10)}$) (hereinafter identified by O1); higher than 10°C and no precipitation ($T_{(>10\text{ bek})}$) (hereinafter identified by O2); from 10°C to 1°C ($T_{(10-1)}$) (hereinafter identified O3); temperature drops from -20°C to 0°C ($T_{(-20-0)}$) (hereinafter identified O4); and falls below -20°C ($T_{(<-20)}$) (hereinafter identified O5).

Determining the average wind speed $V_{(p)}$ was made to the potential wind thresholds when $p < 6.7$ m/s (hereinafter identified V1) $6.8 < p < 13$ m/s (hereinafter identified V2), $p > 13$ m/s (hereinafter identified V3) (S7 formula).

$$V_{(p)} = \frac{V_{(p)_1} + V_{(p)_2} + \dots + V_{(p)_k}}{n} \quad (S7)$$

During the research, the determination of the visibility $M_{(f)}$ impact of traffic intensity parameters f were taken into account, where variables $f > 0.4$ km (further represented by M1) and $f < 0.4$ km (further represented by M2) (S8 formula).

$$M_{(f)} = \frac{(M_{(f)_1} + M_{(f)_2} + \dots + M_{(f)_k})}{n} \quad (S8)$$

By linking real-time EII and RWIS data bases and set the average traffic speed v_{vid} depending on the existing road weather F_{KOS} in green transport corridor edges can be calculated route duration according to the length of the route distance and by applying Bellman's dynamic programming method and solving it with VBA code to identify the optimal intermodal.

By solving this task according to authors proposed (Fig. 1.) model for optimal intermodal route to confirm important insights by identifying optimal route between the selected vertices, according to optimal L_{ij} , $\min t_{ij}$ and $\min E_{ij}$ criteria.

3. Application of optimal intermodal route model in green transport corridor

The data of green transport corridor routes collected by the author is divided by possible vertex connections (with origin and destination vertexes) by establishing edge sequences depending on the selected green transport corridor route.

After establishment of the green transport corridor network, the condition of the task was that ITN around the corridor should be connected as a potential opportunity for a bypass due to the obstacle in the main corridor, and information about it should be provided by intelligent transport system. In Lithuania's green transport corridor $V = 165$ (vertexes) and $A = 488$ (edges) have been identified and they include p_1 and p_2 .

The data on traffic intensity and road weather conditions was presented by the Lithuanian Road Administration, but the model databases and their interfaces were prepared by the author. The research included processing of huge numbers of data lines from RWIS stations and calculators MARKSMAN (660 databases) in each edge attributed to green transport corridor at an interval of 15 minutes.

Average traffic speed v_{vid} data obtained during the research (at $I_{L(0)}$) comprised $v_{vid(0)} = 93.8$ km/h (by applying S4 formula); at $I_{L(0.1-0.2)}$ comprised $v_{vid(0.1-0.2)} = 95.16$ km/h; at $I_{L(0.3-0.6)}$ amounted to $v_{vid(0.3-0.6)} = 95.82$ km/h and given $I_{L(>0.6)}$ amounted to $v_{vid(>0.6)} = 94.33$ km/h. In evaluating average traffic speed v_{vid} by different indicators of rain intensity, this didn't have major influence on the speed. But taking into account that actual average traffic speed v_{vid} in the edges differs significantly from the permitted V , which is from 90 to 130 km/h ($v_{vid} = 101.5$ km/h), an assumption could be made that in order to find an optimal route by t_{ij} when L_{ij} is covered in relevant v_{ij} , given higher actual v_{vid} , information on t_{ij} is distorted. Therefore, in using the actual time information it is possible to more precisely calculate the optimal route.

When calculating the dependence of speed $v_{vid} = f(I_s)$ on snow intensity $I_{S(f)}$ an obvious change in each edge is seen and it depends on the increase of x in indicators, the calculated total edge $v_{vid(>0.1)} = 88.37$ km/h, $v_{vid(0.2-0.3)} = 87.9$ km/h (−0.5 % change of $v_{vid(>0.1)}$), $v_{vid(0.4-1.2)} = 86.5$ km/h (−2 % change of $v_{vid(>0.1)}$), $v_{vid(>1.2)} = 85.9$ km/h (−2.7 % change of $v_{vid(>0.1)}$). Comparison of $v_{vid(>1.2)}$ and $v_{vid(>bek)}$ demonstrates an obvious speed drop to even 13 % (Fig. S3).

When comparing the dependence of edges v_{vid} at $T_{(bek)}$ (Fig. S3) and dependence at $T_{(su\ krit)}$ it turned out that irrespective of temperature variations v_{vid} is higher in case of $T_{(bek)}$.

According to the research, the impact v_{vid} of weather temperature ($T_{(c)}$) on the intensity of vehicles I_{aut} , and delay u_{vid} in case of lower temperature ($^{\circ}\text{C}$) also decreases v_{vid} ($v_{vid(>10bek)} = v_{vid(>10)} = 99$ km/h, $v_{vid(10-1)} = 94.8$ km/h (−4.2 %), $v_{vid(-20-0)} = 90.2$ km/h (−8.9 %), $v_{vid(<-20)} = 93.8$ km/h (−5.2 %). Weather temperature has major impact v_{vid} when temperature decreases below 0°C , and, in case of Lithuania, during the winter season

(from December until March). During this period there is high probability of precipitation and black ice; when temperature dips below -20°C and lower, usually probability of precipitation is low; but this temperature has huge impact on technological devices and mechanisms of vehicles.

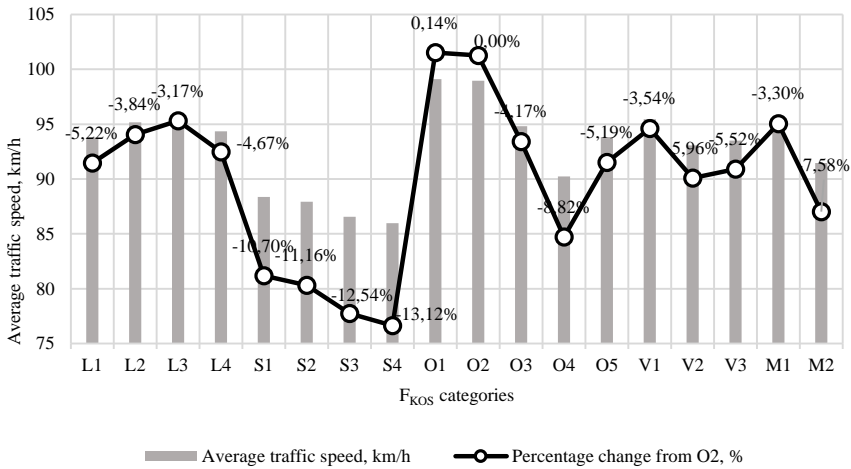


Fig. S3. The average speed of vehicles under weather categories

Analysis of the impact of wind on traffic intensity and flow indicators where $v_{vid(<6.7)} = 95.5$ km/h, $v_{vid(6.8-13)} = 93.1$ km/h, and $v_{vid(>13)} = 93.5$ km/h, indicators have no major impact v_{vid} in evaluating the dependence on $V_{(p)}$.

During the research, when assessing the impact of visibility on traffic intensity indicators $M_{(f)}$, the account was taken of possible f margins when $f > 0.4$ km and $f < 0.4$ km. v_{vid} was obtained between V_i and V_j intensity of vehicles and average delay indicators of vehicles. The medium speed $v_{vid(>0.47)} = 95.7$ km/h, and $v_{vid(<0.4)} = 91.5$ km/h, where variation accounted only for -4% ; this demonstrates that state of visibility state $v_{vid(f)}$ was affected.

According to the research, v_{vid} has major effect on $I_{S(z)}$, when $x < 1.2$, then $v_{vid(>1.2)} = 86$ km/h, which of the selected basic $T_{(>10bek)}$ indicator $v_{vid(>10bek)} = 99$ km/h decreases by 13% ; major impact is also observed when temperature drops from 0 to -20°C , when v_{vid} decreases by 8.9% . When comparing $v_{vid(>1.2)}$ with $v_{vid(>10bek)}$, an obvious decrease of speed was observed (even by 13%).

Only when precise v_{vid} data is included in the database of vertex and edge characteristics aimed to calculate an optimal route, it is possible to define green transport corridor optimal route in real time between the selected vertexes and, consequently, avoid delays due to unexpected obstacles in the route.

The data on green transport corridor routes collected by the author is divided by possible vertex connections (with the start and end vertexes) by developing the edge sequences depending on the selected green transport corridor route.

The developed optimal solution model with the VBA programming language code is adapted to green transport corridor routes in Lithuania. An optimal route is calculated between the point V_i and point V_j following the optimal route criteria (the shortest distance L_{ij} , shortest duration t_{ij} and least amount of CO₂ emissions E_{ij}). During the first stage edge vertexes are selected; the aim is to find an optimal route between their vertexes. During the second stage and according to the established VBA code (the process of VBA code of an optimal route is presented in Fig. S4.), an optimal route is calculated under the criteria of shortest L_{ij} , shortest t_{ij} and least E_{ij} in the route A_{i-j} .

The route from the point V_i to the point V_j was defined taking account of A_{i-j} under the optimal criteria. Following the estimations in the routes A_{1-152} , $A_{159-151}$ and $A_{165-156}$ $\min L_{ij}$, $\min t_{ij}$ and E_{ij} , the results are provided in Fig. S5. The summary of the optimal route results under the three criteria is presented in Table S1.

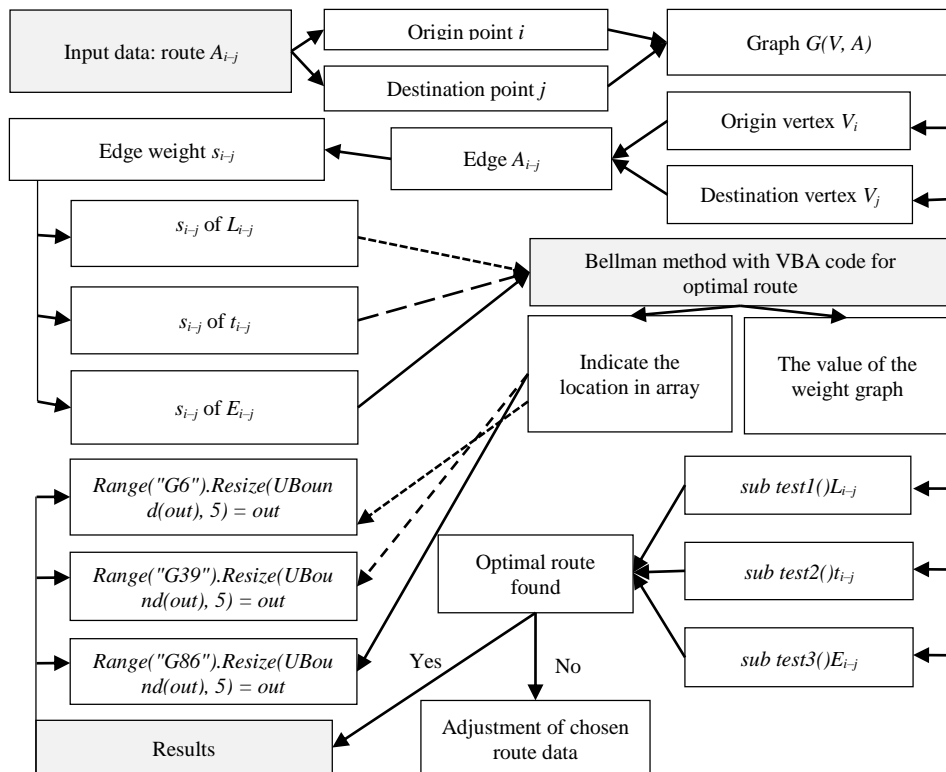


Fig. S4. Optimal routing process using VBA code according to Annex C

The results indicate that optimal routing of A_{1-152} route result (Fig. S5) at min L_{1-152} and min t_{1-152} is made by road transport, and the obtained optimal routing result given the lowest emission amounts in the route is conducted by railway and road transport.

Although optimal routing of A_{1-152} route at min L_{1-152} and min t_{1-152} is more rapid and has shorter distance, but the route at min E_{1-152} notifies lower amounts of emissions. But time of the route at min E_{1-152} amounts to 14 hours 18 min., whereas at min L_{1-152} duration of the route amounts to 3 hours 52 min., since duration of the route is relevant for green transport corridor; thus priority will be given to road transport in case of A_{1-152} route. In view of this, it is important to work out an optimal routing so as to minimise negative impact on the environment. In the route, transportation by railway has a huge potential to reduce the amount of CO₂ emissions and increase the average speed in railway lines in pursuance of green transport corridor goal – to shift intermodal freight to environmentally friendly transport modes.

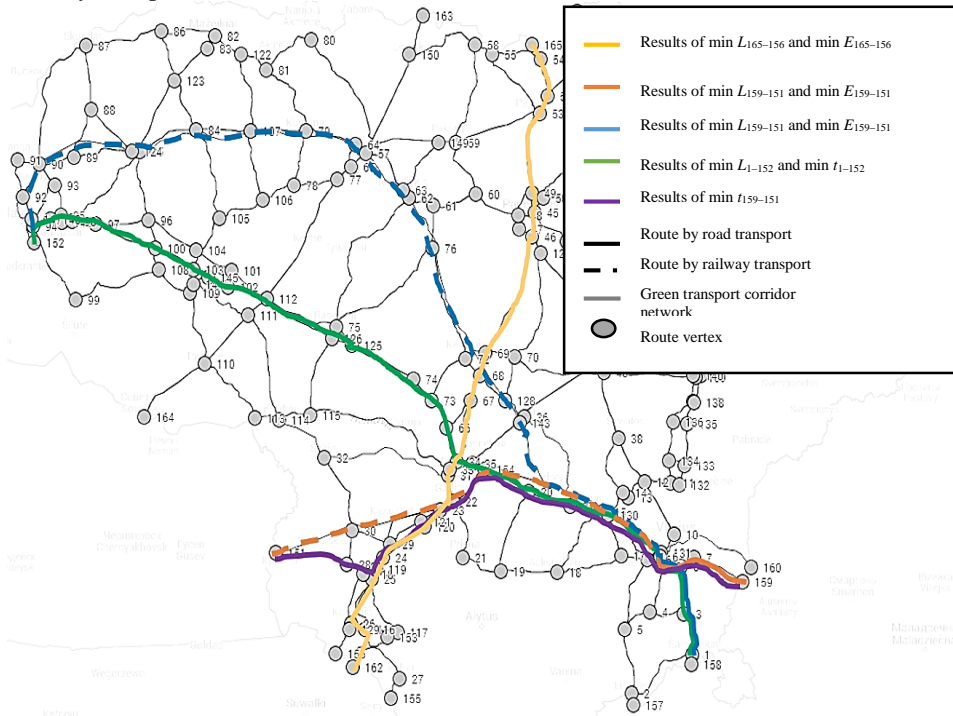


Fig. S5. Optimal route of Edges A_{1-152} , $A_{159-151}$ and $A_{165-156}$ by min L_{ij} , min t_{ij} and min E_{ij}

$A_{159-151}$ route (Fig. S5) at min $L_{159-151}$ and min $E_{159-151}$ criteria is conducted by road and railway transport and its duration is 5 hours 45 min., whereas at min $t_{159-151}$ criteria its duration is 3 hours 5 min. The difference of route duration between the above results is not big, but the amount of emissions in case of transportation at min $L_{159-151}$ and min $E_{159-151}$ criteria is 0.05692 t, and at min $t_{159-151}$ amounts to 0.1390 t, (i.e. is higher by 56 %).

In Lithuania the route $A_{165-156}$ in south-north direction (Fig. S5) is conducted (under the optimal criteria) only by the road transport, therefore the obtained results at min $L_{165-156}$ and $E_{165-156}$ min are identical; however, duration of the route at $t_{165-156}$ is 3 minutes shorter.

Fig. S4 provides the algorithm of VBA programming language code solution, which is applied in defining the optimal route; this helps to obtain the results of the optimal routes A_{1-152} , $A_{159-151}$ and $A_{165-156}$ at min L_{ij} , min t_{ij} and E_{ij} criteria; the results are obtained quickly and could be compared with the results of the alternative routes. Thus, there is a possibility to choose the most appropriate route for transportation of intermodal freight.

According to the three-direction green transport corridor optimal routing results, the major difference between the route duration t_{ij} and E_{ij} emission amounts was A_{1-152} . It is one of the main trends in Lithuania in transporting intermodal freight – Klaipėda Seaport is involved in the transportation of intermodal freight and freight handling volumes are increasing annually. Therefore, it is appropriate to compare A_{1-152} route results with the existing route planning internet programmes accessible to all users, and to continue the analysis of dependence on weather conditions in A_{1-152} route.

Table S1. Optimal route of edges A_{1-152} , $A_{159-151}$ and $A_{165-156}$ results using Bellman-Ford model at min L_{ij} , min t_{ij} and min E_{ij}

Results of optimal route	Distance L , km	Duration t , h	Emission E , t	Transport mode p
Results of min L_{1-152} and min t_{1-152}	351,219	3 h. 52 min	0.2016	Road transport
Results of min E_{1-152}	429,182	14 h. 18 min	0.0931	Road and railway transport
Results of min $L_{159-151}$ and min $E_{159-151}$	224,72	5 h. 47 min	0.05692	Road and railway transport
Results of min $t_{159-151}$	242,185	3 h. 5 min	0.1390	Road transport
Results of min $L_{165-156}$ and min $E_{165-156}$	262,61	3 h. 15 min	0.1507	Road transport
Results of min $t_{165-156}$	267,626	3 h. 12 min	0,1536	Road transport

When defining an optimal routing in A_{1-152} edge according to the data of road weather conditions and traffic intensity DB data depending on the season, the basic data was collected in the model of optimal routing solutions where the average traffic speed is provided in the edges under the road weather conditions and traffic intensity DB. This basic indicator obtained as an average traffic speed during the period under analysis (i.e. from January 2012 until 1 March 2014) is aimed to compare the obtained optimal A_{1-152} route results depending on the season in case of transportation of intermodal freight.

Table S2 provides (by the date) the data on average traffic speed and road weather conditions of edges which are in the route A_{1-152} . This data is used for the comparison of an optimal route A_{1-152} depending on the changing seasons.

According to the results of the optimal route A_{1-152} (Table S2), the major impact of road weather conditions on average traffic speed is observed during the winter period due to low weather temperature and precipitation (Table S2).

During summer time (in case of high temperature) such a high impact was not observed and the obtained optimal routing results did not differ from the basic indicators, since variation of average traffic speed was minor. In updating the information of the optimal route database, and depending on the road weather conditions and traffic intensity, it is possible to compare the data of an optimal route under different road weather conditions.

Table S2. Average speed depending on the season in edges A_{1-152}

A_{94-148}	Base		$v_{94-148} = 84.0$
	2013-07-27 13:20	$T_{94-148} = 25.1^{\circ}\text{C}$	$v_{94-148} = 83.04$
	2013-01-30 13:50	$T_{94-148} = 8.8^{\circ}\text{C}; V_{94-148} = 4.2 \text{ m/s}; I_{[S]} = 0.2 \text{ mm/h}$	$v_{94-148} = 81.8$
	2013-02-03 23:20	$T_{94-148} = -18^{\circ}\text{C}; V_{94-148} = 5.5 \text{ m/s}; I_{[S]} = 1.3 \text{ mm/h}$	$v_{94-148} = 63.62$
$A_{102-112}$	Base		$v_{102-112} = 104.5$
	2013-07-27 13:20	$T_{102-112} = 26.8^{\circ}\text{C}$	$v_{102-112} = 111.47$
	2013-01-30 13:50	$T_{102-112} = -12.4^{\circ}\text{C}; V_{102-112} = -2.9 \text{ m/s};$	$v_{102-112} = 100.1$
	2013-02-03 23:20	$T_{102-112} = -22.5^{\circ}\text{C}; V_{102-112} = -3.2 \text{ m/s};$	$v_{102-112} = 90.78$
$A_{125-126}$	Base		$v_{125-126} = 110.1$
	2013-07-27 13:20	$T_{125-126} = 21.7^{\circ}\text{C}; I_{[L]} = 0.31 \text{ mm/h};$ $V_{125-126} = 0.8 \text{ m/s}$	$v_{125-126} = 112.92$
	2013-01-30 13:50	$T_{125-126} = -11.9^{\circ}\text{C}; V_{125-126} = 1.7 \text{ m/s}$	$v_{125-126} = 103.2$
	2013-02-03 23:20	$T_{125-126} = -22.3^{\circ}\text{C}; V_{125-126} = 4.6 \text{ m/s}$	$v_{125-126} = 94.26$
A_{73-66}	Base		$v_{73-66} = 109.6$
	2013-07-27 13:20	$T_{73-66} = 25.5^{\circ}\text{C}; V_{73-66} = 2.2 \text{ m/s}$	$v_{73-66} = 112.45$
	2013-01-30 13:50	$T_{73-66} = -12.2^{\circ}\text{C}; V_{73-66} = 2 \text{ m/s}$	$v_{73-66} = 104.2$
	2013-02-03 23:20	$T_{73-66} = -24.6^{\circ}\text{C}; V_{73-66} = 2.7 \text{ m/s}$	$v_{73-66} = 100.7$
A_{74-125}	Base		$v_{74-125} = 112.5$
	2013-07-27 13:20	$T_{74-125} = 28.2^{\circ}\text{C}; V_{74-125} = 1.4 \text{ m/s}$	$v_{74-125} = 114.3$
	2013-01-30 13:50	$T_{74-125} = -12.2^{\circ}\text{C}; I_{[S]} = 0.02 \text{ mm/h};$ $V_{74-125} = 2.6 \text{ m/s}$	$v_{74-125} = 100.8$
	2013-02-03 23:20	$T_{74-125} = -20.8^{\circ}\text{C}; V_{74-125} = 4.3 \text{ m/s}$	$v_{74-125} = 77.7$
A_{34-35}	Base		$v_{34-35} = 103.1$
	2013-07-27 13:20	$T_{34-35} = 26.4^{\circ}\text{C}; V_{34-35} = 2.6 \text{ m/s}$	$v_{74-125} = 85.9$
	2013-01-30 13:50	$T_{34-35} = -12.1^{\circ}\text{C}; V_{34-35} = 2.9 \text{ m/s}$	$v_{74-125} = 103.1$
	2013-02-03 23:20	$T_{34-35} = -20.8^{\circ}\text{C}; V_{34-35} = 4.3 \text{ m/s}$	$v_{74-125} = 77.72$
$A_{130-131}$	Base		$v_{130-131} = 80.3$
	2013-07-27 13:20	$T_{130-131} = 27.6^{\circ}\text{C}; V_{130-131} = 1.6 \text{ m/s}$	$v_{130-131} = 79.66$
	2013-01-30 13:50	$T_{130-131} = -10.9^{\circ}\text{C}; I_{[S]} = 0.12 \text{ mm/h};$ $V_{130-131} = 1.7 \text{ m/s}$	$v_{130-131} = 75.16$
	2013-02-03 23:20	$T_{130-131} = -23.5^{\circ}\text{C}; V_{130-131} = 1.1 \text{ m/s}$	$v_{130-131} = 77.98$
A_{20-37}	Base		$v_{20-37} = 101.24$
	2013-07-27 13:20	$T_{20-37} = 23.5^{\circ}\text{C};$	$v_{20-37} = 99.22$
	2013-01-30 13:50	$T_{20-37} = -8.6^{\circ}\text{C}; V_{20-37} = 1.1 \text{ m/s}$	$v_{20-37} = 102.4$
	2013-02-03 23:20	$T_{20-37} = -23.5^{\circ}\text{C}; V_{20-37} = 3.2 \text{ m/s}$	$v_{20-37} = 96.2$

In considering the tasks for optimising the intermodal freight transportation routes, the dependence of road weather conditions on the duration of route, distance and emission amounts was confirmed.

General conclusions

1. The analysis of the scientific literature and scientific works demonstrated that there is still lack of research related to transportation of intermodal freight in the green transport corridor allowing to select an environmentally friendly mode of transport along the route and increase vehicle/freight flow throughput.
2. The established green transport corridor topological map with layers based on the research results of scientists and author of the thesis. By using intermodal freight optimal route model allows to reduce duration of the route, anticipate delays, reduce CO₂ emission, and improve the use of the green transport corridor.
3. The model of interface between the databases provided by intelligent transport system (between road weather conditions DB and traffic intensity DB). It serves as the basis in defining the optimal route. The established model demonstrates the correctness of insights in making the decision on the optimal route between the selected route vertexes under the optimal criteria.
4. According to the analysis based on the dependence of average traffic speed on road and weather conditions, snow has the major impact on the average traffic speed when its intensity is higher than 1.2 m m/h when weather temperature decreases from 0° C to -20° C and under bad visibility conditions.
5. The obtained data on the dependence of average traffic speed on road weather conditions was used in developing the model for the establishment of an optimal route which was prepared following Bellman's dynamic programming model in MS Excel software and according to the VBA (Visual Basic for Application) programming language code. The application of the experimental research method allows to check the correctness of the optimal route for intermodal freight in the green transport corridor.

Priedai¹

A priedas. Pagrindiniai „Supergreen“ projekto ataskaitos žaliojo transporto koridoriaus veiklos rodikliai (Panagakos, Psaraftis 2013)

B priedas. Žaliųjų transporto koridorių atrankos vertinimo kriterijai

C priedas. Optimalaus maršruto Visual basic application kodas (sudarytas autorės)

D priedas. Kelių oro sąlygų tyrimo duomenys (sudaryta autorės)

E priedas. Geležinkelių tinklas (sudarytas autorės)

F priedas. Kelių tinklas (sudarytas autorės)

G priedas. Mazgų ir kelių sankritų tinklas (sudarytas autorės)

H priedas. Kelių oro sąlygų stotelės (sudarytas autorės)

I priedas. Eismo intensyvumo skaičiuotuvai (sudarytas autorės)

J priedas. Bendraautorių sutikimai teikti publikacijose skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje

K priedas. Autoriaus moksliniu publikacijų disertacijos tema kopijos

¹Priedai įrašyti į kompaktinę plokštelę.

Laima GREIČIŪNĖ

ĮVAIRIARŪŠIŲ KROVINIŲ MARŠRUTŲ ŽALIAJAME
TRANSPORTO KORIDORIUJE TYRIMAS

Daktaro disertacija
Technologijos mokslai,
transporto inžinerija (03T)

Laima GREIČIŪNĖ

RESEARCH ON INTERMODAL FREIGHT ROUTES
IN GREEN TRANSPORT CORRIDOR

Doctoral Dissertation
Technological Sciences,
Transport Engineering (03T)

2014 12 23. 11,75 sp. l. Tiražas 70 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Baltijos kopija“
Kareivių g. 13B, 09109 Vilnius